

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN
TEGANGAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI
3 FASA MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR SI PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG



DISUSUN OLEH :

MUHAMAD ANDI ZAHARI

NIM 30601900028

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN
TEGANGAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI
3 FASA MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG



MUHAMAD ANDI ZAHARI

NIM 30601900028

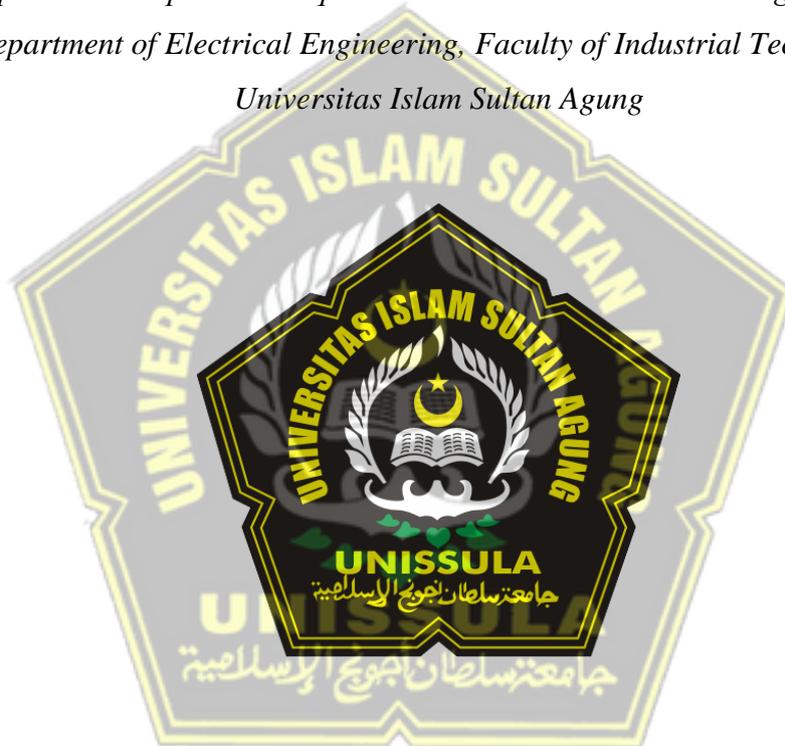
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

FINAL PROJECT

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF VOLTAGE UNBALANCE ON
THE PERFORMANCE OF 3 PHASE INDUCTION MOTORS
USING MATLAB SIMULINK**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at
Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung*



Arranged By :

MUHAMAD ANDI ZAHARI

NIM 30601900028

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK" ini disusun oleh :

Nama : Muhamad Andi Zahari

NIM : 30601900028

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 31 Agustus 2023

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.

Dedi Nugroho, S.T., M.T.

NIDN. 0618066301

NIDN. 0617126602

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Jenny Putri Hapsari, ST., MT.

NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK” ini telah dipertahankan didepan dosen penguji Tugas Akhir pada :

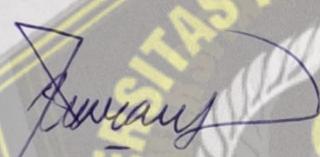
Hari : Kamis

Tanggal : 31 Agustus 2023

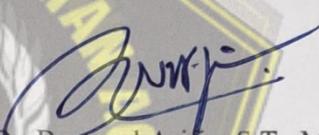
TIM PENGUJI

Anggota I

Anggota II


Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.

NIDN. 0619107301


Dr. Bustanul Arifin, S.T., M.T.

NIDN. 0614117701

Ketua Penguji


Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.

NIDN. 0628086501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhamad Andi Zahari

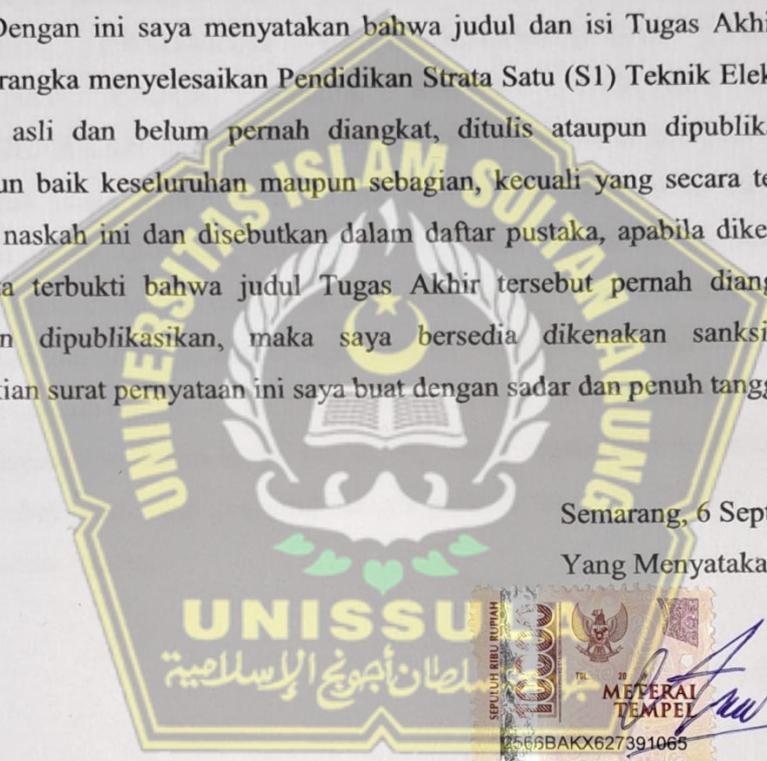
NIM : 30601900028

Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN
TEGANGAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR
INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN MATLAB
SIMULINK

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 6 September 2023

Yang Menyatakan



(Muhamad Andi Zahari)

NIM. 30601900028

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhamad Andi Zahari

NIM : 30601900028

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Alamat Asal : Ds. Rejosari RT 04/RW 03 Kec. Brangsong Kab. Kendal

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK”** menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 6 September 2023

Yang Menyatakan


SEPUULUH RIBU KUPAH
10000
TEL. 20
METERAI
TEMPEL
F1AKX627391070

Muhamad Andi Zahari

HALAMAN PERSEMBAHAN

Pertama,

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang saya cintai dan saya banggakan (Bapak Jusaeni dan Ibu Amin Zasaroh) yang sudah membesarkan saya, yang selalu mendoakan yang terbaik dan memberikan semangat serta dukungan sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan sampai tingkat sarjana.

Kedua,

Untuk Dosen Pembimbing dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran, dan pengarahannya.

Ketiga,

Untuk rekan seperjuangan Tugas Akhir dan teman-teman Teknik Elektro angkatan 2019 yang saling memberikan dukungan.



HALAMAN MOTTO

“Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung, buat jalanmu sendiri dan tinggalkanlah jejak”

(Ralph Waldo Emerson)

“Menuntut ilmu adalah taqwa, menyampaikan ilmu adalah ibadah, mengulang-ulang ilmu adalah dzikir, mencari ilmu adalah jihad”

(Abu Hamid Al Ghazali)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain)”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan memanjatkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Matlab Simulink”. Penulisan Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar S1 pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.

Pada penulisan laporan ini, penulis menyadari bahwa laporan ini masih belum sempurna. Walaupun demikian, penulis berusaha dengan semaksimal mungkin demi kesempurnaan penulisan laporan tugas akhir ini. Kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat diharapkan oleh penulis demi kesempurnaan penulisan dalam laporan berikutnya.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya yang telah memberikan kekuatan, kesabaran, dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., MH selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Ibu Dr. Hj. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si. selaku Dosen Wali Program Studi Teknik Elektro Angkatan 2019 Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

6. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT. dan Bapak Dedi Nugroho, ST., MT. selaku dosen pembimbing saya yang telah memberi bimbingan, arahan, saran, masukan, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh Dosen dan Karyawan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan bantuannya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Kedua orang tua saya tercinta yang telah memberikan dukungan baik materi maupun non materi dan tidak pernah berhenti mendo'akan saya.
9. Teman-teman Teknik Elektro Angkatan 2019 yang selalu semangat dalam perkuliahan.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu terima kasih atas segala dukungan semangat ilmu dan pengalaman yang diberikan.

Akhir kata, penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua orang. Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu, semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian. Amin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Semarang, Agustus 2023

Penulis



Muhamad Andi Zahari

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
HALAMAN MOTTO.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
ABSTRAK.....	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Motor Induksi 3 Fasa.....	6
2.2.2 Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa.....	7
2.2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa.....	9
2.2.4 Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa.....	13
2.2.5 Alur Kerja Motor Induksi 3 Fasa.....	14
2.2.6 Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa.....	15

2.2.7	Torsi Motor Induksi 3 Fasa.....	15
2.2.8	Daya Motor Induksi 3 Fasa.....	16
2.2.9	Sistem Tegangan 3 Fasa.....	20
2.2.10	Ketidakseimbangan Tegangan 3 Fasa.....	22
2.2.11	Faktor Ketidakseimbangan Tegangan.....	23
2.2.12	MATLAB.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....		26
3.1	Model Penelitian.....	26
3.2	Alat dan Bahan.....	28
3.3	Prosedur Penelitian.....	28
3.4	Flowchart.....	29
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....		31
4.1	Hasil Perhitungan.....	31
4.1.1	Perhitungan Input Nilai Tegangan 3 Fasa Tidak Seimbang 31	
4.1.2	Perhitungan Torsi Beban Penuh Motor Induksi.....	32
4.1.3	Perhitungan Arus Maksimum Motor Induksi.....	32
4.2	Hasil Simulasi.....	32
4.3	Analisa Hasil Simulasi.....	34
4.3.1	Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Arus Stator.....	34
4.3.2	Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Arus Rotor.....	36
4.3.3	Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Kecepatan.....	39
4.3.4	Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Torsi.....	41
4.3.5	Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Faktor Daya.....	42
4.3.6	Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Daya Input, Daya Output, dan Daya Terbuang.....	44

4.3.7 Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Efisiensi.....	45
BAB V PENUTUP.....	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	51



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Rancangan keadaan input tegangan 3 fasa	31
Tabel 4.2 Data hasil simulasi	33



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Motor induksi 3 fasa.....	6
Gambar 2.2	Konstruksi motor induksi	7
Gambar 2.3	Tipe rotor motor induksi.....	9
Gambar 2.4	Medan putar motor induksi 3 fasa	11
Gambar 2.5	Kaidah tangan kanan	13
Gambar 2.6	Alur kerja motor induksi	14
Gambar 2.7	Segitiga daya	16
Gambar 2.8	Gelombang sinus tegangan AC 3 fasa.....	20
Gambar 2.9	Diagram fasor 3 fasa.....	20
Gambar 2.10	Macam tegangan pada gelombang AC.....	21
Gambar 2.11	Gelombang sinus tegangan 3 fasa tidak seimbang.....	22
Gambar 2.12	Gelombang sinus tegangan 3 fasa seimbang	23
Gambar 3.1	Model penelitian.....	26
Gambar 3.2	Model simulasi motor induksi pada matlab simulink.....	26
Gambar 3.3	Flowchart.....	30
Gambar 4.1	Grafik arus stator terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m.....	35
Gambar 4.2	Grafik arus stator terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m.....	35
Gambar 4.3	Grafik arus rotor R saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m.....	36
Gambar 4.4	Grafik arus rotor S saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m.....	37
Gambar 4.5	Grafik arus rotor T saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m.....	37
Gambar 4.6	Grafik arus rotor R saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m.....	37
Gambar 4.7	Grafik arus rotor S saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m.....	38

Gambar 4.8	Grafik arus rotor T saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m.....	38
Gambar 4.9	Grafik kecepatan saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m.....	40
Gambar 4.10	Grafik kecepatan saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m.....	40
Gambar 4.11	Grafik torsi saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m.....	42
Gambar 4.12	Grafik torsi saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m.....	42
Gambar 4.13	Grafik faktor daya terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m.....	43
Gambar 4.14	Grafik faktor daya terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m.....	43
Gambar 4.15	Grafik daya motor terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m.....	45
Gambar 4.16	Grafik daya motor terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m.....	45
Gambar 4.17	Grafik perbandingan efisiensi terhadap ketidakseimbangan tegangan.....	46

ABSTRAK

Permasalahan ketidakseimbangan tegangan 3 fasa seringkali diabaikan karena nilai penyimpangan tegangan yang terbilang cukup kecil. Penyebab dari ketidakseimbangan tegangan yaitu distribusi beban fasa tunggal yang tidak merata. Meskipun nilai ketidakseimbangan tegangan ini cukup kecil jika digunakan secara terus menerus bisa berdampak cukup serius bagi motor induksi 3 fasa hal ini dapat mengakibatkan kerusakan dan meningkatnya temperatur suhu pada motor induksi. Solusi dari permasalahan tersebut yaitu perlu dipastikan dengan cara melakukan penelitian guna memberikan pengetahuan terkait seberapa besar pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk kerja motor induksi 3 fasa.

Penelitian ini membahas tentang pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk kerja motor induksi 3 fasa 10 HP. Parameter yang ditentukan yaitu nilai arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, daya terbuang, serta efisiensi yang didapatkan melalui metode simulasi menggunakan matlab simulink. Jenis metode yang dilakukan yaitu simulasi motor induksi ketika kondisi tanpa beban dan beban penuh yang diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang (0%; 3%; 5%; 10%), dan pengamatan nilai parameter yang dihasilkan untuk mengetahui unjuk kerja motor induksi 3 fasa.

Hasil menunjukkan bahwa unjuk kerja motor induksi 3 fasa baik dalam kondisi tanpa beban maupun beban penuh pada parameter arus stator ketika persentase input tegangan tidak seimbang semakin besar terdapat nilai arus melebihi arus maksimum motor 14,26 A, arus rotor berfluktuasi, kecepatan dan torsi terus berfluktuasi tidak dapat stabil, faktor daya terdapat nilai negatif saat kondisi tanpa beban, daya input semakin besar, daya output bernilai tetap, daya terbuang semakin besar, dan efisiensi semakin menurun mengikuti semakin besarnya persentase input tegangan tidak seimbang. Hasil tersebut sangat mempengaruhi unjuk kerja motor induksi maka dari itu NEMA hanya membatasi nilai ketidakseimbangan tegangan sebesar 5%.

Kata kunci : ketidakseimbangan tegangan, unjuk kerja, motor induksi

ABSTRACT

The problem of 3-phase voltage unbalance is often ignored because the voltage deviation value is quite small. The cause of voltage unbalance is the uneven distribution of single phase loads. Although the value of this voltage unbalance is quite small if used continuously, it can have a serious impact on the 3-phase induction motor this can result in damage and increased temperature on the induction motor. The solution to these problems needs to be ascertained by conducting research to provide knowledge related to how much influence voltage unbalance has on the performance of 3-phase induction motors.

This study discusses the effect of voltage unbalance on the performance of a 3-phase 10 HP induction motor. The parameters determined are the value of stator current, rotor current, speed, torque, power factor, input power, output power, wasted power, and efficiency obtained through simulation methods using matlab simulink. The type of method carried out is simulation the induction motor when no load and full load conditions are given an unbalanced 3-phase voltage input (0%; 3%; 5%; 10%), and observing the resulting parameter values to determine the performance of the 3-phase induction motor.

The results show that the performance of a 3-phase induction motor both in no-load and full-load conditions on the stator current parameter when the percentage of unbalanced voltage input is getting bigger there is a current value exceeding the maximum motor current of 14.26 A, the rotor current fluctuates, the speed and torque continue to fluctuate and cannot be stabilized, the power factor has a negative value when the no-load condition, the input power is getting bigger, the output power is fixed, the wasted power is getting bigger, and the efficiency is decreasing following the increasing percentage of unbalanced voltage input. These results greatly effect the performance of induction motors, therefore NEMA only limits the value of voltage unbalance to 5%.

Keywords: voltage unbalance, performance, induction motor

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Sumber energi listrik pada motor induksi terletak di bagian stator, sedangkan sistem kelistrikan di bagian rotornya diinduksikan melalui celah udara dari stator dengan media elektromagnet. Dalam dunia industri jenis motor induksi yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa, motor ini berfungsi sebagai penggerak blower, kompresor, pompa, proses produksi (*mill*), dan lain sebagainya. Banyak motor induksi yang dioperasikan secara terus menerus bahkan dalam kondisi *steady state*. Kelebihan motor induksi 3 fasa meliputi konstruksi yang kuat, desain simpel, efisiensi yang tinggi, perawatannya mudah, dan memiliki unjuk kerja yang baik. Unjuk kerja adalah suatu penilaian yang dilakukan melalui hasil pengamatan pada suatu aktivitas apapun yang dilakukan [1].

Motor induksi didesain dengan asumsi sumber tegangan yang seimbang, akan tetapi saat pengoperasiannya di industri seringkali ditemukan ketidakseimbangan tegangan saat motor tersebut beroperasi. Ketidakseimbangan tegangan merupakan penyimpangan/perbedaan nilai tegangan dalam sistem tenaga (3 fasa) dimana terdapat perbedaan besaran tegangan atau sudut fasa diantara keduanya tidak sama. Dalam sistem 3 fasa, ketidakseimbangan tegangan terjadi ketika fasa atau saluran berbeda dari kondisi keseimbangan normal, kondisi keseimbangan normal adalah ketika tegangan 3 fasa identik besarnya dan sudut fasa berada 120 derajat secara vektor [2]. Menurut standar NEMA MG1-2009 persentase nilai ketidakseimbangan tegangan untuk motor tidak boleh melebihi dari 5% [3], sedangkan menurut standar ANSI C84-1.2016 persentase nilai batas ketidakseimbangan tegangan pada jaringan listrik tidak boleh melebihi 3% [4].

Permasalahannya adalah ketidakseimbangan tegangan ini seringkali diabaikan karena nilai penyimpangan tegangan yang terbilang kecil. Berdasarkan penyelidikan yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro UNISSULA

terjadi ketidakseimbangan tegangan 3 fasa sebesar $\pm 1-4\%$ dari tegangan nominal 220V, adapun nilai tegangannya berubah-ubah secara terus menerus. Penyebab dari ketidakseimbangan tegangan yaitu tegangan dari sumber listrik (baik dari PLN atau pembangkit sendiri) yang memang tidak seimbang, distribusi beban fasa tunggal yang tidak merata, impedansi yang tidak sama dari sistem distribusi 3 fasa, pembebanan tidak seimbang pada kapasitor koreksi faktor daya, dan beban tidak seimbang meskipun dihubungkan dalam tiga fasa [5]. Meskipun nilai ketidakseimbangan tegangan ini cukup kecil jika digunakan secara terus menerus bisa berdampak serius bagi peralatan tenaga listrik. Dampak yang terjadi pada motor induksi 3 fasa yaitu dapat mengakibatkan kerusakan pada motor induksi, meningkatnya temperatur suhu, menurunkan produktivitas motor yang seharusnya, mempengaruhi kekuatan serta kecepatan motor dan berujung pada unjuk kerja yang dihasilkan motor.

Solusi dari permasalahan tersebut yaitu perlu dipastikan dengan cara melakukan penelitian guna memberikan pengetahuan terkait seberapa besar pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk kerja motor induksi 3 fasa. Parameter unjuk kerja yang dibahas meliputi arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, daya terbuang, dan efisiensi. Penelitian dilakukan secara simulasi menggunakan matlab simulink untuk memperoleh hasil yang akurat.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang ada diperoleh perumusan masalah untuk dilakukan penelitian sebagai berikut :

- a. Bagaimana perbandingan masing-masing nilai parameter (arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, daya terbuang, dan efisiensi) pada motor induksi 3 fasa ketika terjadi ketidakseimbangan tegangan?
- b. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk motor induksi 3 fasa?

1.3 Pembatasan Masalah

Dari rumusan masalah yang dituliskan diatas, penulis membatasi ruang lingkup pembahasan masalah sebagai berikut :

- a. Penelitian dilakukan secara simulasi menggunakan matlab simulink dengan objek motor induksi 3 fasa 10 HP - 50 Hz - 1440 rpm, kondisi tanpa beban dan beban penuh.
- b. Persentase nilai ketidakseimbangan tegangan diperoleh dari dasar standar NEMA MG1-2009, input nilai yang dibuat tidak seimbang hanya pada nilai tegangan saja ditentukan menggunakan persamaan PVUR.
- c. Membahas nilai parameter unjuk kerja motor induksi yang meliputi arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, daya terbang, dan efisiensi ketika terjadi ketidakseimbangan tegangan 3 fasa.
- d. Pembahasan hanya saat motor kondisi steady state, saat starting tidak.
- e. Tidak membahas mitigasi untuk mengurangi ketidakseimbangan tegangan.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui nilai parameter (arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, daya terbang, dan efisiensi) pada motor induksi 3 fasa ketika terjadi ketidakseimbangan tegangan.
- b. Menganalisa perbandingan masing-masing nilai parameter pada motor induksi 3 fasa ketika terjadi ketidakseimbangan tegangan.
- c. Menganalisis pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk motor induksi 3 fasa.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Diketuainya wawasan dan pengetahuan terkait pengaruh dari ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk motor induksi 3 fasa.

- b. Diketuainya nilai nilai parameter (arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, daya terbuang, dan efisiensi) pada motor induksi 3 fasa ketika terjadi ketidakseimbangan tegangan.
- c. Dapat mensimulasikan pengujian motor induksi menggunakan matlab simulink.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan laporan tugas akhir penulis membuat sistematika agar terstruktur dan mudah dipahami, adapun sistematika penulisannya sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka berupa jurnal dan hasil penelitian yang terkait dan terdapat pula landasan teori yang menjelaskan mengenai teori-teori umum yang menopang persoalan yang dibahas.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai model penelitian, objek penelitian, alat dan bahan, diagram alir, dan langkah-langkah dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan tentang pembahasan hasil dan analisa dari pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk kerja motor induksi 3 fasa.

BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan bagian akhir dari laporan yang berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu yang sudah dilakukan tentang pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap motor induksi. Telah dilakukan oleh peneliti antara lain :

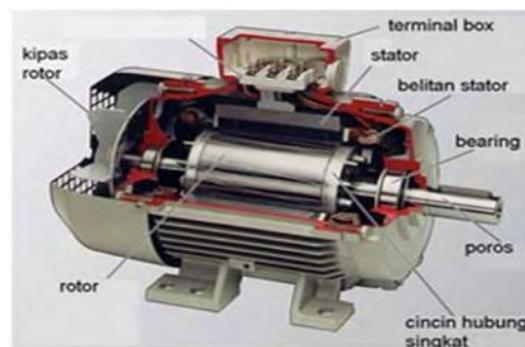
- a. Analisis Pengaruh Tegangan Tidak Seimbang Pada Kinerja Motor Induksi Menggunakan Metode Transformasi *Direct Quadrature* [6]. Hasil menunjukkan bahwa ketika ketidakseimbangan tegangan mencapai 5%, menyebabkan arus stator pada salah satu fasa meningkat hingga 245,8% akibatnya terjadi pemanasan yang tidak merata pada ketiga fasa tersebut. Ketidakseimbangan tegangan juga dapat menyebabkan osilasi gelombang pada torsi elektromagnetik dan arus rotor yang mengakibatkan terjadinya getaran pada motor yang semakin besar.
- b. Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan [7]. Hasil dari penelitian yang sudah dilakukan ketika tegangan berada 365 volt (dibawah normal) nilai efisiensi diperoleh 53,33917%, ketika tegangan normal 380 volt nilai efisiensi diperoleh 66,82559%, dan ketika tegangan berada 395 volt (diatas normal) nilai efisiensi diperoleh 74,45831%. Dari hasil penelitian diketahui bahwa ketidakstabilan tegangan dapat berpengaruh signifikan terhadap nilai arus dan putaran motor yang mengakibatkan nilai rugi-rugi menjadi lebih besar sehingga nilai efisiensi motor induksi menurun.
- c. Analisa Tegangan Tidak Seimbang Terhadap Torsi dan Daya Motor Induksi Tiga Fasa dengan Simulasi Matlab [8]. Hasil menyatakan bahwa ketika terjadi tegangan tidak seimbang menyebabkan terjadinya osilasi pada gelombang torsi yang berakibat getaran pada motor. Nilai torsi juga akan meningkat saat tegangan tidak seimbang karena daya yang digunakan saat tegangan tidak seimbang membutuhkan lebih banyak daya. Hubungan antara torsi dan daya adalah berbanding lurus.

Berdasarkan tinjauan pustaka tersebut, penulis melakukan penelitian yang berfokus pada unjuk kerja yang dihasilkan motor induksi ketika kondisi tanpa beban dan beban penuh yang diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang yang bervariasi dilakukan secara simulasi menggunakan matlab simulink. Parameter unjuk kerja meliputi arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, daya terbuang, dan efisiensi. Kemudian dilakukan analisa untuk memastikan seberapa besar pengaruh dari ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk kerja motor induksi 3 fasa.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Motor Induksi 3 Fasa

Motor listrik adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, sebaliknya untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik alatnya disebut dengan generator [9]. Motor induksi merupakan motor dengan sumber arus listrik AC (*Alternating Current*) yang paling banyak digunakan di bidang industri. Ini dikarenakan struktur motor yang kuat, sederhana, perawatannya yang mudah, dan cukup efisien. Motor induksi terdiri dari 2 tipe yaitu motor induksi rotor belitan dan motor induksi rotor sangkar. Dalam dunia industri jenis motor induksi yang digunakan kebanyakan menggunakan tegangan 3 fasa, biasa digunakan sebagai penggerak *belt conveyor*, pompa, kompresor, gerinda, dan lain sebagainya. Motor induksi juga dikatakan sebagai motor asinkron karena putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan statornya, jadi jumlah putaran selalu lebih rendah karena terdapat slip pada motor tersebut [10], seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Motor induksi 3 fasa

Adapun keunggulan dan kelemahan dari motor induksi adalah sebagai berikut :

Keunggulan :

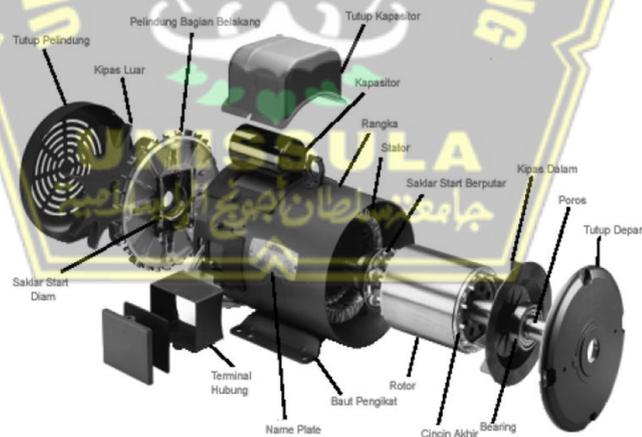
1. Memiliki konstruksi yang sederhana dan daya tahan yang baik (khususnya tipe sangkar tupai yang jarang terjadi kerusakan).
2. Memiliki harga yang terjangkau dan perawatan cukup mudah.
3. Memiliki tingkat efisiensi yang tinggi.
4. Tidak memerlukan peralatan tambahan ketika beroperasi.

Kelemahan :

1. Kecepatan akan menurun ketika adanya tambahan beban.
2. Efisiensi akan berkurang ketika ingin mengubah kecepatan.
3. Memiliki torsi awal yang lebih rendah dari motor DC.

2.2.2 Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

Konstruksi motor induksi tersusun atas beberapa komponen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 [11]. Adapun komponen utama yaitu :



Gambar 2.2 Konstruksi motor induksi

A. Stator

Stator merupakan bagian dari motor induksi yang tidak berputar (stasioner/diam). Di dalam rumah stator terdapat celah alur yang digunakan sebagai tempat melilitkan kawat penghantar (konduktor) yang akan mengalirkan arus listrik 3 fasa yang disebut dengan kumparan stator. Ketika kumparan stator

diberi arus listrik 3 fasa maka pada kumparan tersebut akan timbul flux medan magnet putar. Dari flux medan magnet putar tersebut akan menimbulkan induksi medan magnet yang akan mengakibatkan rotor berputar. Kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator ($n_s = 120f/p$) [12]. Adapun bagian-bagian dari stator terdiri dari :

1. Rangka stator: terbuat dari besi cor, konstruksi dibuat bersirip untuk memperluas daerah pelepasan panas motor.
2. Inti stator : terpasang pada rangka stator, terbuat dari lapisan besi lunak/baja silikon yang direkatkan, biasanya juga disebut sebagai alur stator.
3. Kumparan stator : terbuat dari lilitan tembaga, terpasang pada celah alur stator, tempat timbulnya medan magnet, dapat dirancang agar membentuk jumlah kutub tertentu untuk menghasilkan jumlah putaran yang diinginkan.
4. Plat penutup : berfungsi sebagai tempat peletakan bearing dan pelindung bagian dalam motor, terbuat dari besi cor.
5. Bearing : bagian yang memisahkan badan stator dengan rotor, berfungsi sebagai tempat peletakan as rotor.

B. Rotor

Rotor merupakan bagian dari motor induksi yang berputar dalam sumbu. Perputaran pada rotor disebabkan karena adanya medan magnet dan lilitan kawat email pada rotor. Sedangkan torsi dari perputaran rotor ditentukan oleh banyaknya lilitan kawat dan juga diameternya. Adapun bagian-bagian dari rotor terdiri dari :

1. Inti rotor : terbuat dari besi lunak/baja silikon, berfungsi sebagai jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan.
2. Alur dan gigi : terbuat dari bahan sama seperti inti rotor, berfungsi sebagai tempat lilitan tembaga.
3. Kumparan : terbuat dari lilitan tembaga, berfungsi sebagai pembangkit fluks magnetik.
4. Poros/shaft/as : berfungsi sebagai batang pijakan komponen pada rotor.

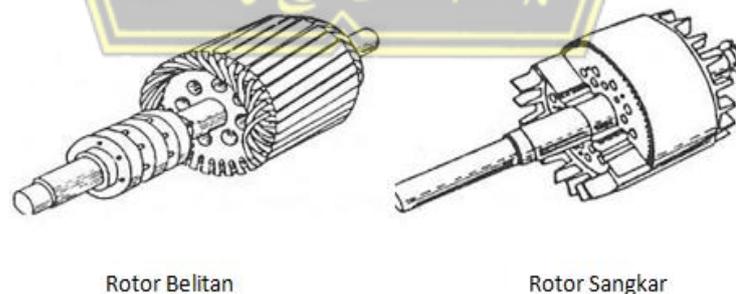
Berdasarkan model konstruksi pada rotor, motor induksi dibagi menjadi 2 tipe [13]:

a. Motor induksi rotor sangkar tupai (*squirrel-cage rotor*)

Motor induksi tipe ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun menyerupai sangkar tupai. Motor jenis ini konstruksinya sederhana, tetapi tidak dimungkinkan diberikan pengaturan tahanan luar seperti pada motor induksi rotor belitan. Kelebihannya kecepatannya konstan, konstruksi kuat, dan mudah dilakukan pemeliharaan. Kekurangannya faktor daya cenderung buruk untuk beban kecil dan arus start yang besar menyebabkan tegangan berfluktuasi.

b. Motor induksi rotor belitan (*wound rotor*)

Motor induksi tipe mempunyai rotor dengan belitan kumparan 3 fasa dan jumlah kutub yang sama seperti kumparan stator. Penambahan tahanan luar sampai nilai tertentu dapat membuat kopel mula mencapai nilai kopel maksimumnya. Kelebihannya faktor daya rendah saat keadaan tanpa beban dan penuh saat berbeban, pengaturan kecepatan yang bagus saat beroperasi, tidak ada pemanasan berlebih saat starting, torsi saat start tinggi dengan arus yang rendah, dan dapat diubah karakteristik keluarannya. Kekurangannya harganya lebih mahal dan perawatan lebih sulit. Untuk tampilan perbedaan kedua rotor tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tipe rotor motor induksi

2.2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Bagian motor induksi yang terhubung dengan sumber energi listrik adalah stator, sedangkan bagian rotor hanya menerima induksi medan magnet (tidak

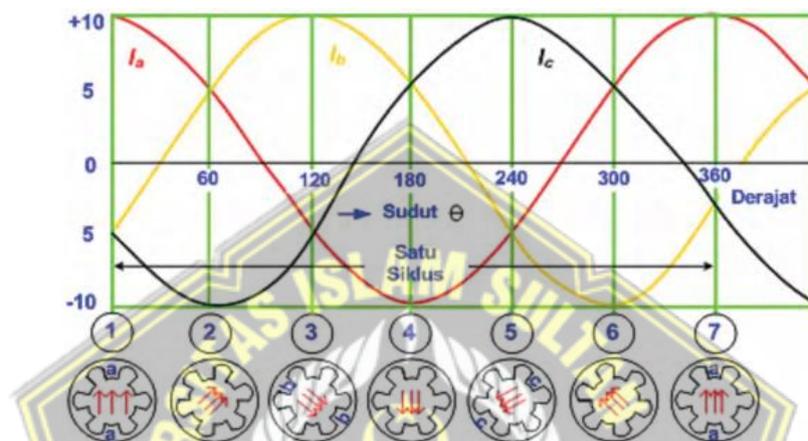
terhubung dengan energi listrik). Jika kumparan pada stator dihubungkan dengan energi listrik 3 fasa, maka stator tersebut mengalir arus listrik 3 fasa, kemudian arus akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Ketika stator menginduksikan medan putar ke rotor, terjadi seperti medan magnetik sedang memotong konduktor (kumparan) rotor, di dalam rotor tersebut diinduksikan GGL (Gaya Gerak Listrik). Karena rangkaian di dalam rotor merupakan rangkaian tertutup maka menyebabkan arus mengalir di dalam kumparan rotor. Dengan adanya aliran arus pada kumparan rotor di dalam medan magnet yang dihasilkan stator maka akan dibangkitkan gaya yang dapat menggerakkan rotor.

Penyebab rotor berputar pada motor induksi karena adanya medan putar yang dihasilkan oleh kumparan pada stator. Adapun aturan operasi putaran pada motor induksi adalah sebagai berikut [9][14][15]:

1. Ketika sumber energi listrik 3 fasa dihubungkan dengan kumparan stator maka akan timbul medan putar dengan kecepatan pada kumparan stator.
2. Medan magnet putar yang dihasilkan stator akan menginduksi konduktor rotor terjadi fluks magnet maka pada kumparan rotor timbul GGL. Medan magnet yang diinduksikan pada rotor dengan persamaan $E = (v \times B) \cdot L$
3. Kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup maka arus akan mengalir dalam medan magnet dan memberikan gaya pada rotor.
4. Karena ada medan magnet B , arus i yang mengalir pada konduktor rotor, dan l maka akan timbul gaya gerak F (gaya lorentz) yang memutar motor jika F tersebut terpenuhi ($F = B \cdot i \cdot l$).
5. Ketika start awal karena gaya yang diberikan pada rotor cukup besar untuk memutar beban, rotor berputar ke arah yang sama dengan medan putar stator.
6. Tegangan induksi akan timbul karena terpotongnya konduktor rotor oleh medan magnet putar yang dihasilkan stator, maka agar tegangan terinduksi diperlukan perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan putaran rotor (n_r).
7. Selisih kecepatan antara n_s dengan n_r disebut dengan slip

8. Jika $n_r = n_s$ tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan rotor, maka tidak dihasilkan kopel. Kopel terjadi jika $n_r < n_s$.

Putaran rotor pada motor induksi 3 fasa ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluksi yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini timbul jika kumparan stator dihubungkan dengan sumber tegangan 3 fasa sesuai pada Gambar 2.4 [13][14].



Gambar 2.4 Medan putar motor induksi 3 fasa

Dalam prinsip kerja induksi elektromagnetik pada mesin listrik terdapat 2 persamaan hukum dasar fisika yaitu persamaan hukum faraday dan hukum gaya lorentz [16][17].

1. Hukum Faraday

Michael Faraday menyatakan hukum dasar listrik yang menjelaskan mengenai fenomena induksi elektromagnetik dan hubungan antara perubahan fluks dengan tegangan induksi yang ditimbulkan dalam suatu rangkaian, menyatakan bahwa : “jika sebuah konduktor memotong garis-garis gaya dari suatu medan magnet yang konstan, maka pada konduktor tersebut akan timbul tegangan induksi”, “perubahan fluks medan magnet didalam suatu rangkaian konduktor akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut”.

Hukum faraday menyatakan bahwa ggl yang ditimbulkan pada rangkaian listrik tertutup sama dengan rata-rata perubahan gaya fluks, gaya fluks(ϕ) = $N\phi$. Dimana N adalah jumlah lilitan pada kumparan dan ϕ adalah fluks yang

menghubungkannya. Apabila terdapat perubahan nilai fluks pada kumparan, muncul ggl yang dihasilkan di dalamnya dengan persamaan (2.1)

$$e = \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$

dengan : e = gaya gerak listrik

ϕ = fluks magnet

t = waktu

Persamaan diatas menyatakan koil tidak berubah dan fluks yang berubah terhadap waktu, dihasilkan ggl yang disebut dengan ggl transformator (pulsasional). Karena tidak ada gerakan yang terjadi maka tidak ada konversi energi dan proses yang sebenarnya terjadi adalah transfer energi. Prinsip ini digunakan pada transformator yang menggunakan koil tetap dan fluks yang berubah terhadap waktu untuk transfer energi dari suatu level ke level lainnya.

Pada persamaan kedua, pengaruh fluks dapat digunakan untuk menggambarkan ggl yang dihasilkan pada konduktor yang bergerak pada medan stasioner konstan diperoleh dengan persamaan (2.2)

$$e = B \cdot l \cdot v \quad (2.2)$$

dengan : e = gaya gerak listrik

B = kuat magnet

l = panjang penghantar

v = kecepatan relatif

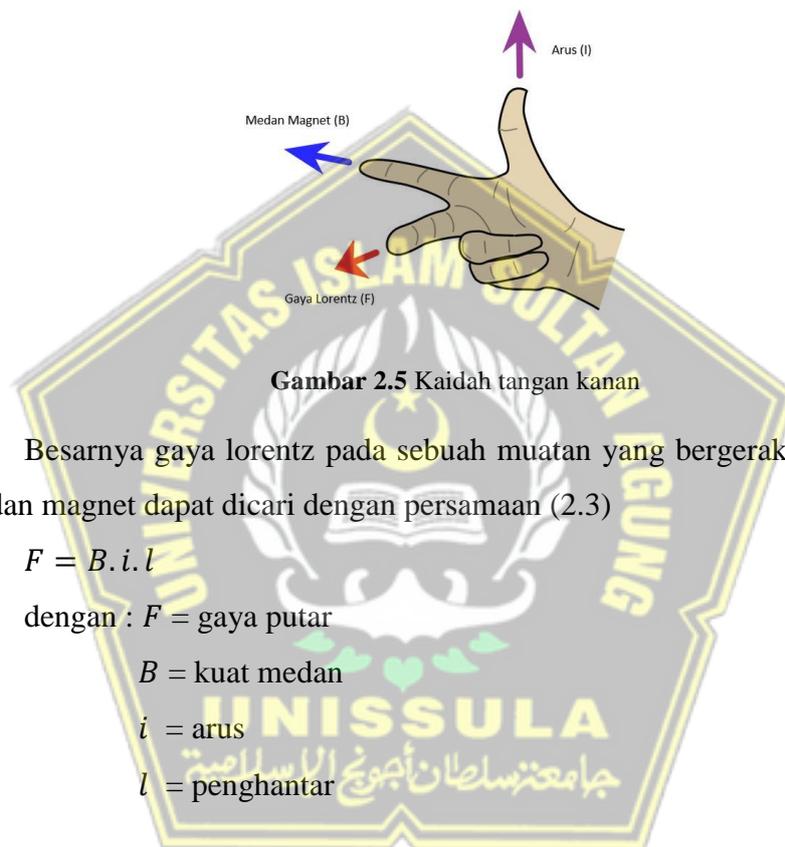
Gaya gerak listrik yang dibangkitkan diatas adalah ggl gerak karena dihasilkan dari pergerakan konduktor. Karena gerakan ikut berperan dalam membangkitkan ggl maka proses ini terjadi konversi energi elektromagnetik.

Besarnya ggl induksi (e) bergantung pada cepatnya perubahan fluks magnetik yang dapat dirumuskan untuk satu lilitan ($e = -$) dan untuk N lilitan ($e = -N$). Tanda negatif menandakan bahwa arah ggl induksi seperti arus yang dihasilkan berlawanan dengan perubahan fluks.

2. Hukum Gaya Lorentz

Gaya Lorentz adalah gaya yang ditimbulkan oleh muatan listrik yang bergerak atau oleh arus listrik yang berada dalam suatu medan magnet (B).

Arah gaya ini akan mengikuti arah maju skrup yang diputar dari vektor arah gerak muatan listrik (i) ke arah medan magnet (B). Arah gaya lorentz pada muatan yang bergerak dapat juga ditentukan dengan kaidah tangan kanan dari gaya lorentz (F) akibat dari arus listrik, I dalam suatu medan magnet B . Ibu jari menunjukkan arah arus listrik (I). Jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet (B). Jari tengah menunjukkan arah gaya (F) seperti Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kaidah tangan kanan

Besarnya gaya lorentz pada sebuah muatan yang bergerak dalam daerah medan magnet dapat dicari dengan persamaan (2.3)

$$F = B \cdot i \cdot l \quad (2.3)$$

dengan : F = gaya putar

B = kuat medan

i = arus

l = penghantar

2.2.4 Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Unjuk kerja adalah suatu penilaian atau pengukuran yang dilakukan melalui hasil pengamatan terhadap suatu aktivitas atau pekerjaan, penilaian suatu unjuk kerja diambil berdasarkan apapun aktivitas yang dilakukan [1].

Unjuk kerja motor induksi sangat dipengaruhi oleh setiap peralatan yang terhubung dengan motor induksi tersebut [18]. Contohnya seperti input tegangan, frekuensi, kualitas daya, beban, dan apapun yang terhubung dengan motor induksi. Penilaian unjuk kerja pada motor induksi digunakan untuk menilai semua hal ketika motor induksi tersebut beroperasi. Adapun parameter unjuk kerja dari

motor induksi biasanya meliputi arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, daya terbuang, dan efisiensi.

2.2.5 Alur Kerja Motor Induksi 3 Fasa

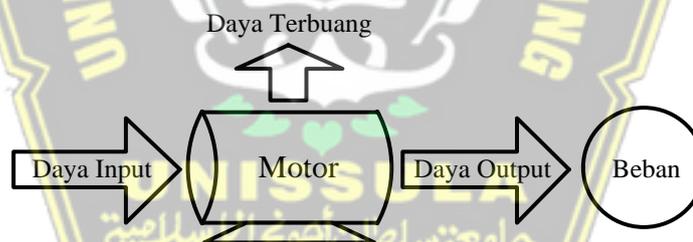
Pada motor induksi rotor tidak terhubung secara langsung dengan sumber tegangan, sehingga aliran daya harus melewati stator lalu celah udara dan kemudian baru akan sampai ke rotor. Saat aliran daya bekerja pada motor induksi pasti terdapat daya terbuang di dalamnya, sehingga daya masukan akan berkurang kemudian mempengaruhi nilai keluaran daya motor induksi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Daya masukan total pada kumparan stator dapat ditentukan dengan persamaan (2.4).

$$P_{in} = \sqrt{3} V_L I_L \cos\phi \quad (2.4)$$

dengan : V_L = tegangan sumber (volt)

I_L = arus sumber (ampere)

$\cos\phi$ = faktor daya



Gambar 2.6 Alur kerja motor induksi

Daya output pada motor induksi berupa daya mekanik dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.5).

$$P_{out} = \omega \times T \quad (2.5)$$

dengan : P_{out} = daya keluaran motor (watt)

ω = kecepatan sudut (rps)

T = torsi (N.m)

Setelah mengetahui nilai daya input dan daya output yang ada pada motor induksi maka dapat ditentukan besar nilai daya terbuang pengujian pada motor induksi menggunakan persamaan (2.6).

$$P_{\text{terbuang}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \quad (2.6)$$

dengan : P_{terbuang} = daya motor yang terbuang (watt)

P_{in} = daya masukan motor (watt)

P_{out} = daya keluaran motor (watt)

2.2.6 Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa

Efisiensi pada motor induksi dapat diartikan sebagai kemampuan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang dinyatakan dalam persentase daya keluaran terhadap daya masukan [7], nilai efisiensi dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.7).

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \quad (2.7)$$

dengan : η = efisiensi (%)

P_{out} = daya keluaran motor (watt)

P_{in} = daya masukan motor (watt)

Perlu diketahui besarnya daya keluaran pada motor induksi sangat bergantung pada nilai daya terbuang saat motor tersebut beroperasi dan ini mempengaruhi besarnya nilai efisiensi. Semakin tinggi nilai efisiensi maka semakin rendah nilai rugi-rugi daya, begitupun sebaliknya [10].

2.2.7 Torsi Motor Induksi 3 Fasa

Torsi merupakan momen putar atau gaya yang dihasilkan mesin biasanya untuk akselerasi, sedangkan power (tenaga) itu terkait dengan putaran mesin (kecepatan). Satuan dari torsi adalah N.m (force.jarak). Torsi berhubungan dengan kemampuan motor untuk mensuplai beban mekanik. Maka torsi beban dapat dirumuskan dalam persamaan (2.8) dan (2.9).

$$T_{sh} = \frac{P_{\text{out}}}{\omega} \quad (2.8)$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (2.9)$$

dengan : T_{sh} = torsi shaft (N.m)

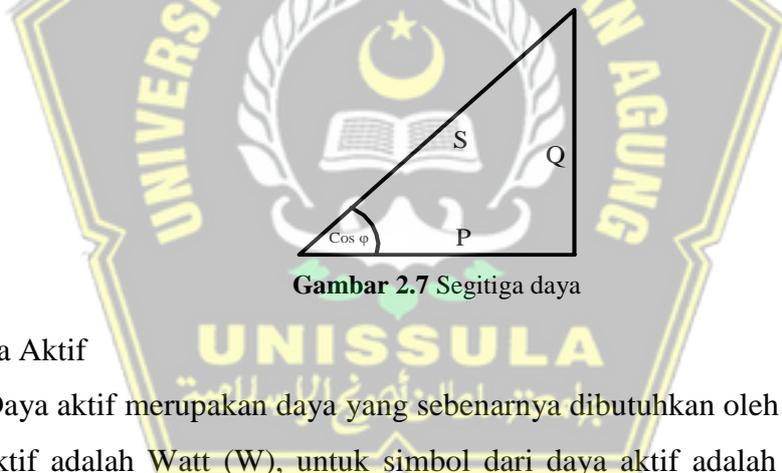
P_{out} = daya keluaran (watt)

N = kecepatan rotor (rpm)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

2.2.8 Daya Motor Induksi 3 Fasa

Daya adalah energi yang dikonsumsi untuk melakukan usaha. Dalam kelistrikan daya merupakan ukuran besarnya laju hantaran energi listrik ketika komponen kelistrikan tersebut beroperasi. Satuan daya listrik menurut internasional adalah Watt (W) yang menyatakan besarnya usaha yang dilakukan oleh sumber tegangan untuk mengalirkan arus listrik menuju beban tiap satuan waktu joule/detik (j/s) [19]. Daya dalam motor induksi selain dinyatakan dalam Watt (W) juga dinyatakan dalam Horsepower (HP), 1 HP sama dengan 746 Watt. Daya terdiri dari 3 macam yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Untuk mengetahui masing-masing nilai daya tersebut dapat menggunakan konsep segitiga daya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Segitiga daya

1. Daya Aktif

Daya aktif merupakan daya yang sebenarnya dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah Watt (W), untuk simbol dari daya aktif adalah P. Daya aktif pada beban yang bersifat resistif, dimana tidak mengandung induktor grafik gelombang tegangan dan arus, sehingga besar daya ini merupakan perkalian dari tegangan dan arus.

Untuk mengetahui daya aktif 1 fasa dengan persamaan (2.10).

$$P_{1\phi} = V_{LN} \times I \times \cos\phi \quad (2.10)$$

Untuk mengetahui daya aktif 3 fasa dengan persamaan (2.11) s/d (2.13).

$$P_{3\phi} = 3 \times V_{LN} \times I \times \cos\phi \quad (2.11)$$

$$= 3 \times \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \times I \times \cos\phi \quad (2.12)$$

$$= \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \times \cos\varphi \quad (2.13)$$

Untuk mengetahui daya aktif ketika tegangan 3 fasa seimbang dengan persamaan (2.14) dan (2.15).

$$P_1 = P_2 = P_3 \quad (2.14)$$

$$P_{3\phi} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (2.15)$$

Untuk mengetahui daya aktif ketika tegangan 3 fasa tidak seimbang dengan persamaan (2.16) s/d (2.19).

$$P_1 = V_1 \times I_1 \times \cos\varphi_1 \quad (2.16)$$

$$P_2 = V_2 \times I_2 \times \cos\varphi_2 \quad (2.17)$$

$$P_3 = V_3 \times I_3 \times \cos\varphi_3 \quad (2.18)$$

$$P_{3\phi} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (2.19)$$

dengan : P = daya aktif (watt)

V_{LN} = tegangan fasa-netral (volt)

V_{LL} = tegangan fasa-fasa (volt)

I = arus (ampere)

$\cos\varphi$ = faktor daya

2. Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet. Satuan dari daya reaktif adalah Volt Ampere Reaktif (VAR), sedangkan simbolnya adalah Q. Daya reaktif timbul dari beban yang bersifat induktif. Dengan menggunakan kapasitor, daya reaktif ini dapat diperkecil, hal serupa sering dilakukan pada industri yang menggunakan banyak motor listrik sebagai beban.

Untuk mengetahui daya reaktif 1 fasa dengan persamaan (2.20).

$$Q_{1\phi} = V_{LN} \times I \times \sin\varphi \quad (2.20)$$

Untuk mengetahui daya reaktif 3 fasa dengan persamaan (2.21) s/d (2.23).

$$Q_{3\phi} = 3 \times V_{LN} \times I \times \sin\varphi \quad (2.21)$$

$$= 3 \times \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \times I \times \sin\varphi \quad (2.22)$$

$$= \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \times \sin\varphi \quad (2.23)$$

Untuk mengetahui daya reaktif ketika tegangan 3 fasa seimbang dengan persamaan (2.24) dan (2.25).

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (2.24)$$

$$Q_{3\phi} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.25)$$

Untuk mengetahui daya reaktif ketika tegangan 3 fasa tidak seimbang dengan persamaan (2.26) s/d (2.29).

$$Q_1 = V_1 \times I_1 \times \sin\phi_1 \quad (2.26)$$

$$Q_2 = V_2 \times I_2 \times \sin\phi_2 \quad (2.27)$$

$$Q_3 = V_3 \times I_3 \times \sin\phi_3 \quad (2.28)$$

$$Q_{3\phi} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.29)$$

dengan : Q = daya reaktif (var)

V_{LN} = tegangan fasa-netral (volt)

V_{LL} = tegangan fasa-fasa (volt)

I = arus (ampere)

3. Daya Semu

Daya semu merupakan daya nyata yang disalurkan oleh pembangkit menuju konsumen listrik. Satuan dari daya semu adalah Volt Ampere (VA), sedangkan symbol dari daya semu adalah S. Daya semu merupakan perkalian antara tegangan dengan arus.

Untuk mengetahui daya semu 1 fasa dengan persamaan (2.30).

$$S_{1\phi} = V_{LN} \times I \quad (2.30)$$

Untuk mengetahui daya semu 3 fasa dengan persamaan (2.31) s/d (2.35).

$$S_{3\phi} = 3 \times V_{LN} \times I \quad (2.31)$$

$$= 3 \times \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \times I \quad (2.32)$$

$$= \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \quad (2.33)$$

$$\text{atau } S = P + jQ \quad (2.34)$$

$$\text{atau } |S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.35)$$

Untuk mengetahui daya semu ketika tegangan 3 fasa seimbang dengan persamaan (2.36) dan (2.37).

$$S_1 = S_2 = S_3 \quad (2.36)$$

$$S_{3\phi} = S_1 + S_2 + S_3 \quad (2.37)$$

Untuk mengetahui daya semu ketika tegangan 3 fasa tidak seimbang dengan persamaan (2.38) s/d (2.41).

$$S_1 = V_1 \times I_1 \quad (2.38)$$

$$S_2 = V_2 \times I_2 \quad (2.39)$$

$$S_3 = V_3 \times I_3 \quad (2.40)$$

$$S_{3\phi} = S_1 + S_2 + S_3 \quad (2.41)$$

dengan : S = daya semu (watt)

P = daya aktif (var)

Q = daya reaktif (va)

V_{LN} = tegangan fasa-netral (volt)

V_{LL} = tegangan fasa-fasa (volt)

I = arus (ampere)

4. Faktor Daya

Faktor daya merupakan komponen yang cukup penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, karena sumber tenaga listrik (Volt Ampere/VA) yang menunjukkan energi secara nyata (Watt) dipengaruhi tinggi rendahnya faktor daya. Faktor daya diperlukan setinggi mungkin, karena arus suplai pada beban dengan daya besar akan mendisipasikan energi pada kabel suplai cukup besar. Beban dengan faktor daya rendah akan menarik arus yang besar dan energi yang tidak berharga (kVAR) pada kawat penghantar besar. Sehingga beban yang mempunyai faktor daya yang rendah akan menurunkan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik, oleh karena itu untuk beban industri dan pelanggan dengan daya besar, faktor daya rendah akan sangat berpengaruh. Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dengan daya semu [20]. Adapun untuk mengetahui nilai faktor daya dapat menggunakan persamaan (2.42).

$$\cos\phi = \frac{P}{S} \quad (2.42)$$

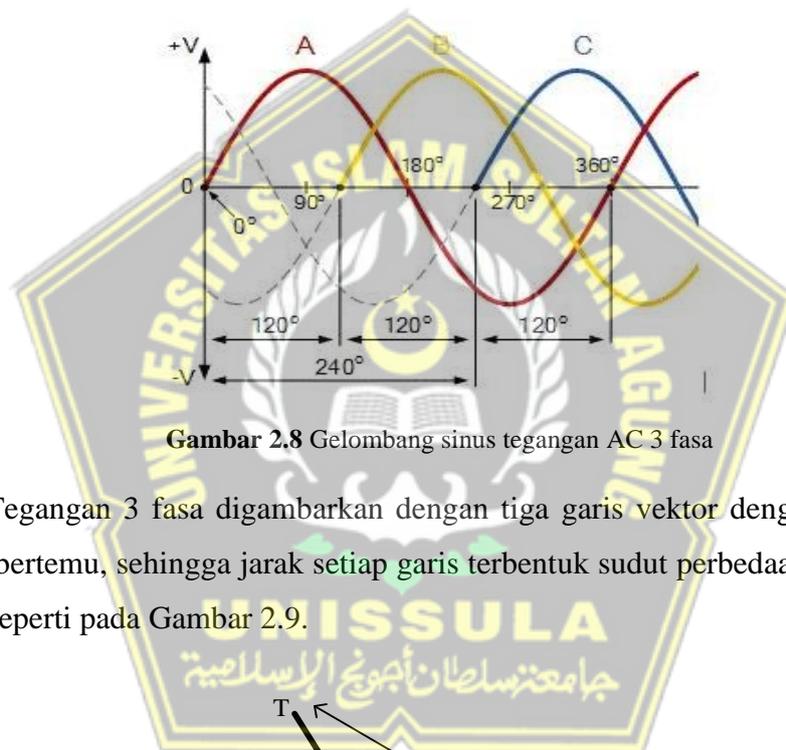
dengan : $\cos\phi$ = faktor daya

P = daya aktif (watt)

S = daya semu (va)

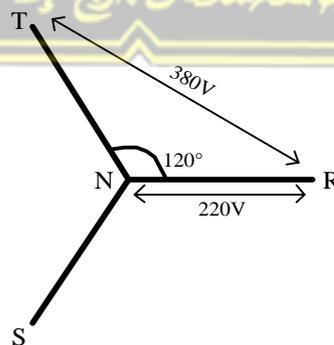
2.2.9 Sistem Tegangan 3 Fasa

Pada umumnya listrik 3 fasa memiliki tegangan 380 V dengan arus bolak-balik (AC) yang digunakan pada industri dan gedung-gedung besar. Energi listrik 3 fasa adalah listrik yang memakai 3 kawat fasa (R, S, T) sebagai penghantar dan 1 kawat netral. Pada sistem 3 fasa ada 2 macam tegangan yaitu tegangan antar fasa bernilai 380 V dan tegangan fasa-netral bernilai 220 V. Gelombang sinus sistem tegangan 3 fasa memiliki 3 gelombang yang mempunyai perbedaan sudut 120° seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Gelombang sinus tegangan AC 3 fasa

Tegangan 3 fasa digambarkan dengan tiga garis vektor dengan satu ujung saling bertemu, sehingga jarak setiap garis terbentuk sudut perbedaan fasa sebesar 120° , seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram fasor 3 fasa

Jenis tegangan pada tegangan AC seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.10 terdiri dari :

1. Tegangan maksimum (V_{max})

Pada gelombang sinus nilai tegangan maksimum diukur dari titik nol pada garis horizontal hingga ujung puncak gelombang. Adapun persamaan untuk menentukan nilai tegangan maksimum dirujuk pada persamaan (2.43).

$$V_{max} = \sqrt{2} \times V_{rms} \quad (2.43)$$

dengan : V_{max} = tegangan maksimum (volt)

V_{rms} = tegangan efektif/rms (volt)

2. Tegangan puncak ke puncak (V_{pp})

Pada gelombang sinus nilai tegangan puncak ke puncak adalah jumlah tegangan antara 1 bukit dan 1 lembah. Adapun persamaan untuk menentukan nilai tegangan puncak ke puncak dirujuk pada persamaan (2.44).

$$V_{pp} = 2 \times V_m \quad (2.44)$$

dengan : V_{pp} = tegangan puncak ke puncak (volt)

V_m = tegangan maksimum (volt)

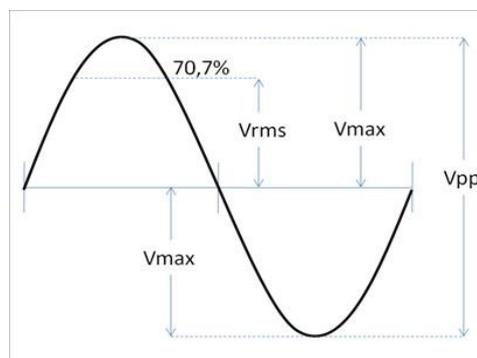
3. Tegangan efektif (V_{rms})

Pada gelombang sinus nilai tegangan efektif (*root mean square*) adalah nilai tegangan tetap pada sebuah pengukuran. Adapun persamaan untuk menentukan nilai tegangan efektif dirujuk pada persamaan (2.45).

$$V_{rms} = 0,707 \times V_m \quad (2.45)$$

dengan : V_{rms} = tegangan efektif (volt)

V_m = tegangan maksimum (volt)



Gambar 2.10 Macam tegangan pada gelombang

2.2.10 Ketidakseimbangan Tegangan 3 Fasa

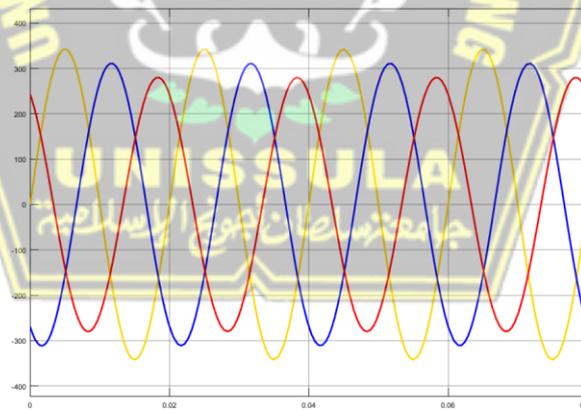
Ketidakseimbangan tegangan merupakan penyimpangan/perbedaan tegangan dalam sistem tenaga listrik dimana terdapat perbedaan besaran tegangan atau sudut fasa diantara keduanya tidak sama. Pada umumnya, ketidakseimbangan tegangan (*unbalance voltage*) merupakan jenis gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik yang mempunyai fasa lebih dari satu. Dalam sistem 3 fasa, ketidakseimbangan tegangan terjadi ketika fasa atau saluran berbeda dari kondisi keseimbangan normal. Kondisi keseimbangan normal adalah ketika tegangan, arus, dan faktor daya 3 fasa identik besarnya [2], dimana dibuktikan pada persamaan (2.46) s/d (2.48).

$$V_{LN} = V_{1N} = V_{2N} = V_{3N} \quad (2.46)$$

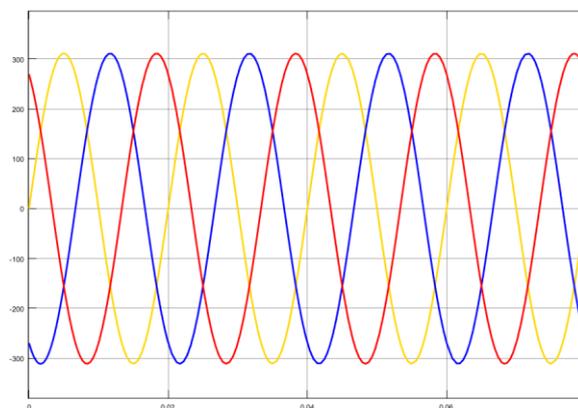
$$I_L = I_1 = I_2 = I_3 \quad (2.47)$$

$$\cos\varphi = \cos\varphi_1 = \cos\varphi_2 = \cos\varphi_3 \quad (2.48)$$

Untuk membedakan antara tegangan tidak seimbang dengan tegangan seimbang dapat dilihat pada gambar gelombang sinusoidal, seperti pada Gambar 2.11 dan 2.12.



Gambar 2.11 Gelombang sinus tegangan 3 fasa tidak seimbang



Gambar 2.12 Gelombang sinus tegangan 3 fasa seimbang

Penyebab terjadinya ketidakseimbangan tegangan berasal dari sistem distribusi tenaga listrik atau beban dari sistem tersebut. Adapun penyebab lainnya adalah sebagai berikut :

1. Kerusakan pada salah satu komponen fasa (fuse meledak).
2. Distribusi beban satu fasa yang tidak merata.
3. Adanya kerusakan pada transformator sistem tenaga.
4. Open-delta transformator.
5. Impedansi yang tidak sama dari sistem distribusi 3 fasa.

Cara mengatasi ketidakseimbangan tegangan yaitu dengan melakukan cek secara rutin pada beban dan jaringan listrik mengenai hasil pengukuran elemen tenaga listrik (tegangan, arus, dll). Jika melebihi nilai standar maka segera untuk dilakukan perbaikan. Jika terjadi ketidakseimbangan tegangan pada salah satu fasa bisa dilakukan koreksi pembebanan antar fasa.

2.2.11 Faktor Ketidakseimbangan Tegangan

Pada saat sistem 3 fasa bertegangan seimbang nilai tegangan antar fasa sebesar 380 V, sedangkan saat tegangan tidak seimbang tegangan antar fasa bisa kurang maupun lebih dari 380 V, besar selisih/penyimpangan tegangan dinyatakan dalam faktor ketidakseimbangan tegangan VUF (*Voltage Unbalance Factor*) [21]. Menurut standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) std141-1993 [22] ketidakseimbangan tegangan adalah variasi tegangan dalam sistem tegangan 3 fasa dimana terdapat perbedaan besaran tegangan yang

tidak sama. IEEE mengasumsikan tegangan rata-rata bernilai sama dengan nominal tegangan fasa dan mendefinisikan ketidakseimbangan tegangan dalam persamaan PVUR (*Phase Voltage Unbalanced in Rate*) dirujuk pada persamaan (2.49) dan (2.50).

$$PVUR = \frac{\text{deviasi max tegangan fasa dengan rata-rata tegangan fasa}}{\text{rata-rata tegangan fasa}} \times 100\% \quad (2.49)$$

$$PVUR = \frac{\text{Max}((V_r - V_{avg}), (V_s - V_{avg}), (V_t - V_{avg}))}{V_{avg}} \times 100\% \quad (2.50)$$

Menurut standar NEMA (*National Electrical Manufactures Association*) MG1-2009 [3] definisi ketidakseimbangan tegangan ini hampir identik dengan definisi ketidakseimbangan tegangan oleh IEEE hanya saja menggunakan nilai tegangan fasa-fasa dan mengasumsikan tegangan rata-rata bernilai sama dengan harga nominal tegangan fasa-fasa, dinyatakan dalam persamaan LVUP (*Line Voltage Unbalanced in Percentage*) dirujuk pada persamaan (2.51) dan (2.52).

$$LVUP = \frac{\text{deviasi max tegangan antar fasa dengan rata-rata antar fasa}}{\text{rata-rata tegangan antar fasa}} \times 100\% \quad (2.51)$$

$$LVUP = \frac{\text{Max}((V_{rs} - V_{avg}), (V_{st} - V_{avg}), (V_{tr} - V_{avg}))}{V_{avg}} \times 100\% \quad (2.52)$$

Menurut standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) definisi ketidakseimbangan tegangan menggunakan nilai tegangan urutan negatif dan urutan positif untuk mengetahui nilai ketidakseimbangan tegangan, adapun persamaannya dirujuk pada persamaan (2.53) dan (2.54).

$$VUF = \frac{\text{nilai tegangan urutan negatif}}{\text{nilai tegangan urutan positif}} \times 100\% \quad (2.53)$$

$$VUF = \frac{V_n}{V_p} \times 100\% \quad (2.54)$$

2.2.12 MATLAB

MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan sebuah software dengan bahasa pemrograman matematika tingkat lanjutan berbasis matriks yang dikembangkan oleh MathWorks dan dikhususkan untuk analisis, komputasi numerik, visualisasi, dan pemrograman [23]. Dengan memanfaatkan Matlab, pengguna dapat melakukan analisis data, mengembangkan algoritma, membuat model aplikasi, pengolahan sinyal, aljabar linear, dan kalkulasi matematis lainnya. Matlab bersifat

extensible yang berarti pengguna dapat menulis fungsi baru untuk ditambahkan pada library. Matlab secara luas banyak digunakan dalam bidang science dan engineering.

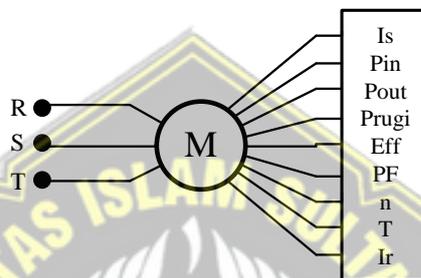
Di dalam software Matlab terdapat bagian tambahan yang dapat digunakan untuk pemodelan, simulasi, dan analisa dari sistem dinamis dengan menggunakan GUI (*Guide User Interface*). Bagian tambahan tersebut disebut dengan simulink, Simulink merupakan bentuk pemrograman secara grafis melalui blok pustaka (*library block*) sehingga memudahkan untuk keperluan desain, simulasi dan pengujian berbagai sistem yang berubah terhadap waktu seperti sistem tenaga listrik, sistem komunikasi, sistem kendali, pemrosesan sinyal. Simulink terdiri dari kumpulan toolbox yang dapat digunakan untuk sistem linear dan non linear. Beberapa library yang sering digunakan dalam sistem kelistrikan antara lain *electrical sources, measurements, machines, dan power electronic*.



BAB III METODE PENELITIAN

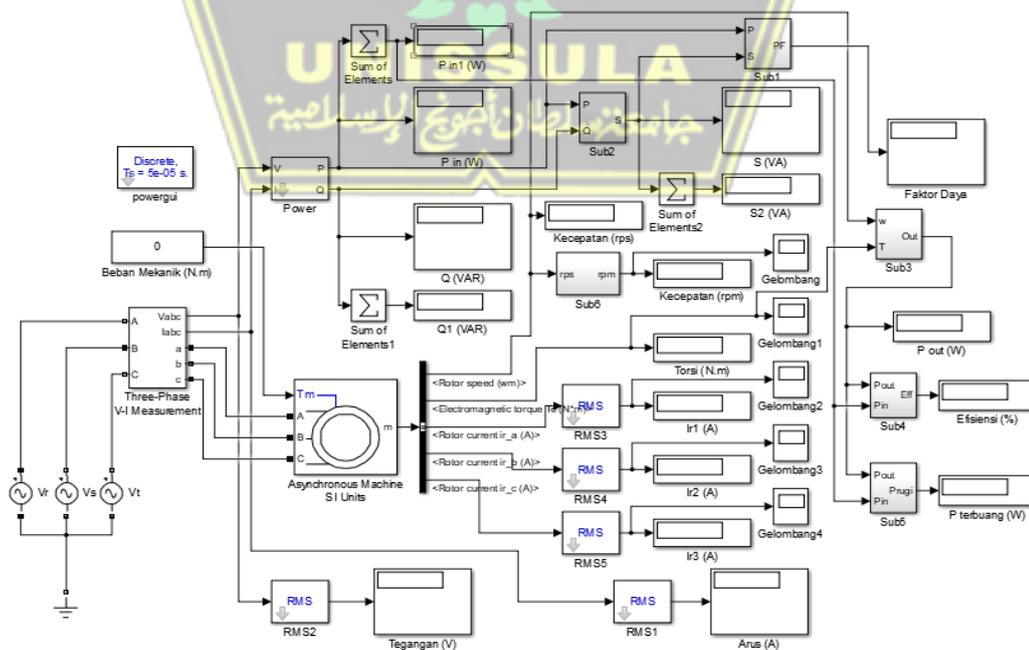
3.1 Model Penelitian

Model penelitian dalam Tugas Akhir ini adalah melakukan pengukuran dan pengamatan nilai parameter unjuk kerja motor induksi 3 fasa ketika diberi input tegangan yang bervariasi, dilakukan secara simulasi menggunakan matlab simulink. Model penelitian yang dilakukan seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Model penelitian

Objek pada penelitian ini menggunakan motor induksi (asinkron) 3 fasa jenis sangkar tupai yang terdapat pada simulink library dengan spesifikasi berupa 10 HP (7,5 kW); 380 V; 50 Hz; 1440 rpm. Model rangkaian simulasi yang digunakan pada penelitian ini sesuai pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Model simulasi motor induksi pada matlab simulink

Pada rangkaian Gambar 3.2 di atas menggunakan sumber tegangan AC 1 fasa berjumlah 3 yang masing-masing fasanya bernilai 220 V dengan frekuensi 50 Hz. Jenis motor menggunakan motor induksi rotor sangkar tupai. Beban yang digunakan berupa torsi mekanik yang nilainya disesuaikan dengan spesifikasi motor induksi 3 fasa yang digunakan. Di dalam rangkaian seperti Gambar 3.2 tersebut diberi display dan scope guna pengambilan nilai parameter data yang diperlukan untuk analisa. Dengan menggunakan rangkaian simulasi matlab simulink ini dilakukan 8 kali simulasi yaitu sebagai berikut :

- a. Keadaan tegangan seimbang kondisi tanpa beban.
- b. Keadaan tegangan seimbang kondisi beban penuh.
- c. Keadaan tegangan tidak seimbang 3% kondisi tanpa beban.
- d. Keadaan tegangan tidak seimbang 3% kondisi beban penuh.
- e. Keadaan tegangan tidak seimbang 5% kondisi tanpa beban.
- f. Keadaan tegangan tidak seimbang 5% kondisi beban penuh.
- g. Keadaan tegangan tidak seimbang 10% kondisi tanpa beban.
- h. Keadaan tegangan tidak seimbang 10% kondisi beban penuh.

Menurut standar NEMA MG1-2009 nilai ketidakseimbangan tegangan tidak disarankan untuk dioperasikan pada motor induksi jika melebihi 5%, maka dalam penelitian ini rancangan keadaan nilai input ketidakseimbangan tegangan dibuat sebesar 0% (tegangan seimbang), 3% (tegangan tidak seimbang dibawah batas), 5% (tegangan tidak seimbang tepat batas), 10% (tegangan tidak seimbang diatas batas). IEEE std 141-1993 menyatakan faktor ketidakseimbangan tegangan dalam persentase PVUR yang hanya menggunakan nilai tegangan sedangkan nilai sudut fasa tidak digunakan. Jadi untuk menentukan nilai input masing-masing tegangan pada setiap kondisi dapat menggunakan persamaan PVUR. IEEE std 141-1993 mengasumsikan nilai tegangan rata-rata sama dengan nominal salah satu tegangan fasa, tegangan nominal bernilai 220 volt.

Penelitian ini dilakukan secara simulasi menggunakan matlab simulink untuk mengetahui pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk kerja motor induksi 3 fasa. Jenis motor induksi 3 fasa yang digunakan sesuai yang ada pada simulink library matlab. Penelitian ini diawali dengan membuat rangkaian

simulasi, menentukan motor induksi, menentukan nilai ketidakseimbangan tegangan, menentukan nilai beban torsi dan arus maksimum sesuai spesifikasi motor induksi. Setelah itu dapat dilakukan simulasi menggunakan simulink, dilanjutkan dengan pengumpulan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari pengamatan saat simulasi pada rangkaian, sedangkan data sekunder diperoleh dari buku, jurnal, dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Data primer yang diperoleh berupa parameter tegangan fasa, frekuensi, arus stator, daya input, daya reaktif, daya semu, faktor daya, kecepatan, torsi, arus rotor, daya output, daya terbuang, dan efisiensi. Dari data tersebut diambil parameter unjuk kerja (arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, daya terbuang, dan efisiensi) kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk kerja motor induksi 3 fasa, ditunjukkan pula grafik dan capture gelombang masing-masing parameter ketika simulasi, dan diakhiri dengan pengambilan kesimpulan.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan pengambilan data adalah sebagai berikut :

- a. Laptop
- b. Matlab versi 2015b
- c. Alat tulis

3.3 Prosedur Penelitian

Berikut merupakan prosedur dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penentuan model penelitian

Diawali dengan menentukan model penelitian dan membuat model rangkaian menggunakan matlab simulink seperti pada Gambar 3.2 untuk dilakukan simulasi untuk memperoleh pengaruh dari ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk kerja motor induksi 3 fasa.

2. Perancangan input simulasi

Perancangan dapat dilakukan dengan menentukan nilai input ketidakseimbangan tegangan dengan dasar standar NEMA MG1-2009. Kemudian menentukan nilai beban torsi, dan menentukan arus maksimum sesuai spesifikasi motor induksi 3 fasa yang digunakan.

3. Pengambilan data

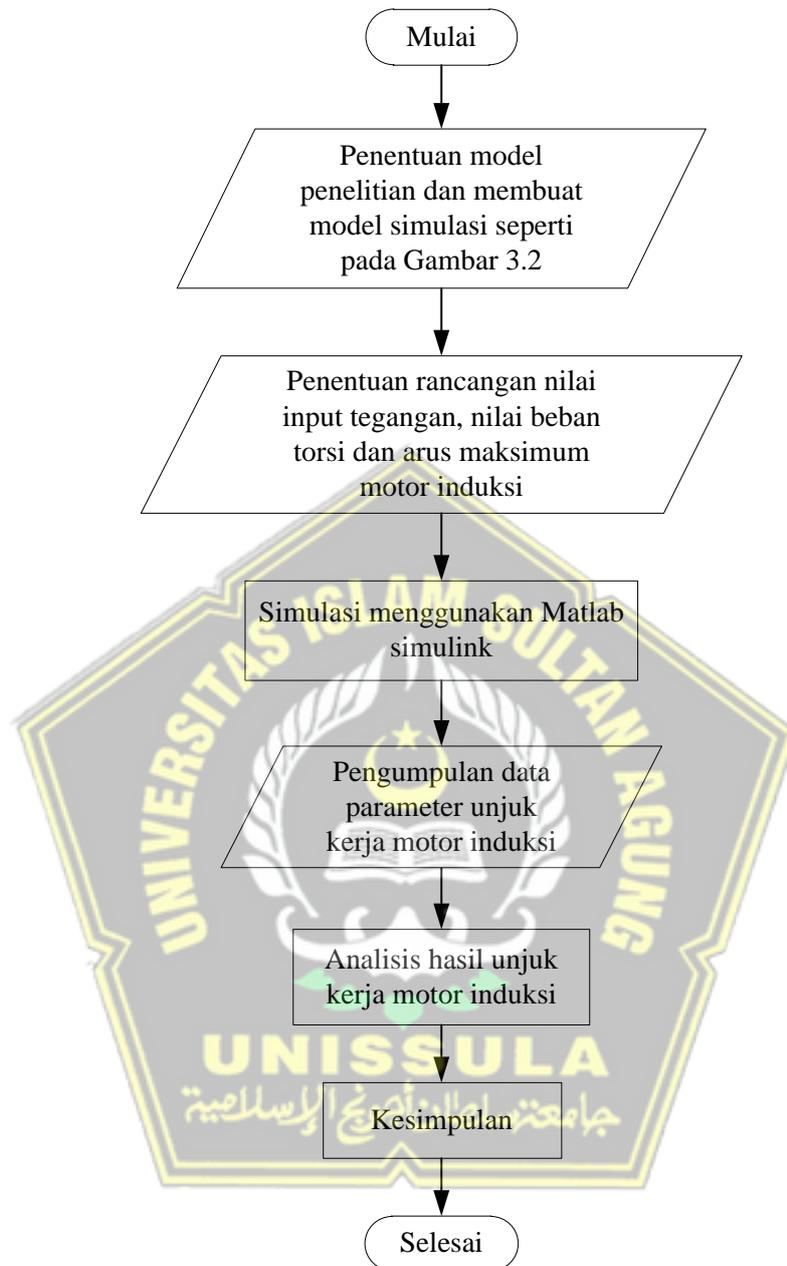
Data diambil dengan cara pengamatan pada rangkaian simulasi ketika simulasi selesai dijalankan. Kemudian diambil nilai yang telah ditampilkan oleh display dan scope yang digunakan pada rangkaian simulasi berupa parameter unjuk kerja motor induksi (arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, daya terbuang, dan efisiensi).

4. Hasil dan analisa

Hasil dari data yang diperoleh kemudian dilakukan perbandingan dari berbagai keadaan dan kondisi dari input simulasi kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk kerja motor induksi 3 fasa.

3.4 Flowchart

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan pelaksanaan, agar pelaksanaannya berjalan dengan baik dan tersusun secara urut maka dibuatlah diagram alir (flowchart), seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Flowchart

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Perhitungan

4.1.1 Perhitungan Input Nilai Tegangan 3 Fasa Tidak Seimbang

Dengan merujuk pada Gambar 3.2, untuk menentukan input nilai tegangan 3 fasa tidak seimbang dapat menggunakan persamaan PVUR (*Phase Voltage Unbalanced in Rate*) dari IEEE, karena input yang digunakan adalah tegangan fasa (fasa-ground) maka dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.46). Berikut merupakan contoh perhitungan tegangan fasa pada sampel ketidakseimbangan tegangan sebesar 3%.

$$PVUR = 3\%$$

$$PVUR\% = \frac{V_r - V_{av}}{V_{av}} = 0,03$$

$$V_r = 0,03 \times V_{av} + V_{av} = 0,03 \times 220 + 220 = 226,6 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \frac{|V_r| + |V_s| + |V_t|}{3} &= V_{av} \text{ atau } |V_s| + |V_t| = 3 \times |V_{av}| - |V_r| \\ &= 3 \times 220 - 226,6 \\ &= 433,4 \text{ V} \end{aligned}$$

$$|V_s| = 220 \text{ V}$$

$$|V_t| = 433,4 - 220 = 213,4 \text{ V}$$

Untuk hasil perhitungan input tegangan simulasi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rancangan keadaan input tegangan 3 fasa

No	Input Tegangan Simulasi	Tegangan		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1.	Tegangan Seimbang	220∠0°	220∠240°	220∠120°
2.	Tegangan Tidak Seimbang 3%	226,6∠0°	220∠240°	213,4∠120°
3.	Tegangan Tidak Seimbang 5%	231∠0°	220∠240°	209∠120°
4.	Tegangan Tidak Seimbang 10%	242∠0°	220∠240°	198∠120°

4.1.2 Perhitungan Torsi Beban Penuh Motor Induksi

Pada penelitian ini beban yang digunakan adalah beban torsi mekanik. Beban yang digunakan disesuaikan dengan spesifikasi motor induksi 3 fasa yang digunakan, untuk menentukan nilainya dapat menggunakan persamaan (2.5)

$$\text{Diketahui : } P_{out} = 7500 \text{ W}$$

$$N = 1440 \text{ rpm}$$

$$\text{Jawab : } \omega = \frac{2\pi \times 1440}{60} = 150,79 \text{ rad/s}$$

$$T_{sh} = \frac{7500}{150,79}$$

$$= 49,73 \text{ N.m} \approx 50 \text{ N.m}$$

4.1.3 Perhitungan Arus Maksimum Motor Induksi

Motor induksi mempunyai arus maksimum yang berbeda-beda tergantung spesifikasi motor tersebut. Untuk mengetahui nilai arus maksimum yang dapat mengalir pada motor induksi dapat menggunakan persamaan (2.10).

$$\text{Diketahui : } P = 7500 \text{ W}$$

$$V = 380 \text{ V}$$

$$\cos\phi = 0,8$$

$$\text{Jawab : } 7500 = \sqrt{3} \times 380 \times I \times 0,8$$

$$I = \frac{7500}{380 \times \sqrt{3} \times 0,8}$$

$$I = 14,26 \text{ A}$$

4.2 Hasil Simulasi

Berikut merupakan data hasil yang diperoleh dalam melakukan simulasi motor induksi 3 fasa menggunakan matlab simulink, ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hasil simulasi

No	Parameter	Tegangan Seimbang		Tegangan Tidak Seimbang 3%		Tegangan Tidak Seimbang 5%		Tegangan Tidak Seimbang 10%	
		Beban 0	Beban 50	Beban 0	Beban 50	Beban 0	Beban 50	Beban 0	Beban 50
1.	Tegangan Fasa (V)	220∠0°	220∠0°	226,6∠0°	226,6∠0°	231∠0°	231∠0°	242∠0°	242∠0°
		220∠240°	220∠240°	220∠240°	220∠240°	220∠240°	220∠240°	220∠240°	220∠240°
		220∠120°	220∠120°	213,4∠120°	213,4∠120°	209∠120°	209∠120°	198∠120°	198∠120°
2.	Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50	50	50	50
3.	Arus Stator (A)	5,5	14,16	6,63	15,94	7,53	17,13	10,08	20,15
		5,5	14,16	6,53	13,26	7,38	12,77	9,79	12,01
		5,5	14,16	3,72	13,46	2,53	13,12	0,52	12,74
		79,57	8306	92,91	8320	116,6	8345	227,8	8459
5.	Daya Reaktif (VAR)	3633	4276	3652	4295	3684	4329	3837	4488
6.	Daya Semu (VA)	3634	9343	3735	9402	3894	9511	4697	10040
7.	Faktor Daya	0,02	0,88	0,25	0,88	0,35	0,88	0,52	0,88
		0,02	0,88	-0,21	0,83	-0,33	0,78	-0,51	0,62
		0,02	0,88	0,04	0,93	0,07	0,96	0,52	0,99
8.	Kecepatan (rpm)	1500	1430	1496,6 s/d 1503,1	1427,2 s/d 1433,2	1494,4 s/d 1505,2	1425,2 s/d 1435,1	1488,8 s/d 1510,35	1419,9 s/d 1439,8
9.	Torsi (N.m)	0,07	50,08	(-7,25) s/d 7,4	43,35 s/d 56,8	(-12,15) s/d 12,3	38,9 s/d 61,2	(-24,39) s/d 24,5	27,68 s/d 72,45
10.	Arus Rotor (A)	1,28E-06	0,05 s/d 1,2	0,001 s/d 0,0014	0,02 s/d 1,25	0,0026 s/d 0,0033	0,002 s/d 1,3	0,0006 s/d 0,0062	0,015 s/d 1,408
		1,28E-06	0,05 s/d 1,2	0,0009 s/d 0,0012	0,04 s/d 1,24	0,0014 s/d 0,0022	0,005 s/d 1,29	0,0012 s/d 0,0053	0,027 s/d 1,405
		2,56E-06	0,05 s/d 1,2	0,0012 s/d 0,0016	0,015 s/d 1,25	0,0035 s/d 0,0042	0,02 s/d 1,29	0,0042 s/d 0,009	0,018 s/d 1,405
11.	Daya Output (W)	12,41	7500	12,41	7500	12,41	7499	12,4	7498
12.	Daya Terbuang (W)	67,16	806	80,5	820	104,19	846	215,4	961
13.	Efisiensi	15,6	90,29	13,36	90,14	10,64	89,87	5,44	88,64

Berdasarkan tabel 4.2 diperoleh nilai parameter hasil simulasi diantaranya yaitu nilai tegangan fasa, frekuensi, arus stator, daya input, daya reaktif, daya semu, faktor daya, kecepatan, torsi, arus rotor, daya output, dan efisiensi dari masing-masing keadaan input tegangan 3 fasa serta kondisi beban. Dari data yang diperoleh tersebut diambil nilai arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi, faktor daya, daya input, daya output, dan efisiensi untuk dilakukan analisa.

4.3 Analisa Hasil Simulasi

4.3.1 Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Arus Stator

Dari hasil simulasi motor induksi pada Tabel 4.2 ketika diberi input tegangan 3 fasa seimbang saat kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai arus pada stator sebesar 5,5 A, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan nilai arus stator sebesar 14,16 A. Dikarenakan input tegangan 3 fasa seimbang maka nilai arus statornya bernilai sama ($I_r = I_s = I_t$). Nilai arus tersebut merupakan nilai maksimum yang dapat dialirkan melalui kumparan stator motor induksi yang digunakan, jika melebihi nilai tersebut maka suhu pada kumparan stator akan meningkat bahkan dapat menyebabkan motor induksi terbakar.

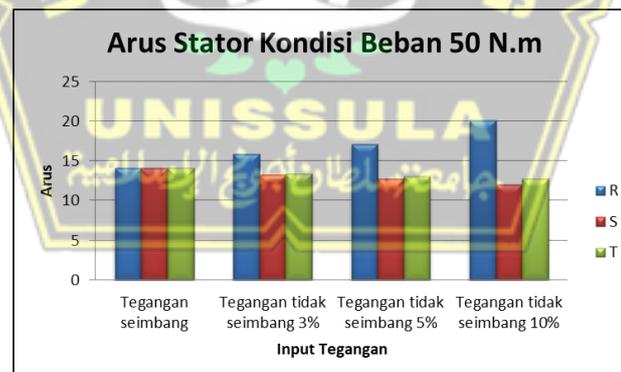
Dari hasil simulasi motor induksi pada Tabel 4.2 ketika diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3% saat kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai arus pada stator sebesar 6,63A; 6,53A; 3,72A, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan nilai arus stator sebesar 15,94A; 13,26A; 13,46A. Dikarenakan input tegangan 3 fasa tidak seimbang maka nilai arus statornya bernilai berbeda tiap fasanya (I_r ; I_s ; I_t). Ketika kondisi tanpa beban terdapat 2 nilai arus yaitu I_r dan I_s melebihi nilai arus saat keadaan tegangan 3 fasa seimbang tanpa beban, ketika kondisi berbeban terdapat 1 nilai arus pada I_r yang melebihi nilai arus saat keadaan tegangan 3 fasa seimbang berbeban.

Ketika diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang 5% saat kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai arus pada stator sebesar 7,53A; 7,38A; 2,53A, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan nilai arus stator sebesar 17,13A; 12,77A; 13,12A. Ketika kondisi tanpa beban terdapat 2 nilai arus yaitu I_r dan I_s melebihi nilai arus saat keadaan tegangan 3 fasa seimbang tanpa beban, ketika kondisi

berbeban terdapat 1 nilai arus pada Ir yang melebihi nilai arus saat keadaan tegangan 3 fasa seimbang berbeban. Ketika diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang 10% saat kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai arus pada stator sebesar 10,08A; 9,79A; 0,52A, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan nilai arus stator sebesar 20,15A; 12,01A; 12,74A. Ketika kondisi tanpa beban terdapat 2 nilai arus yaitu Ir dan Is melebihi nilai arus saat keadaan tegangan 3 fasa seimbang tanpa beban, ketika kondisi berbeban terdapat 1 nilai arus pada Ir yang melebihi nilai arus saat keadaan tegangan 3 fasa seimbang berbeban. Perbandingan masing kondisi dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Grafik arus stator terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m

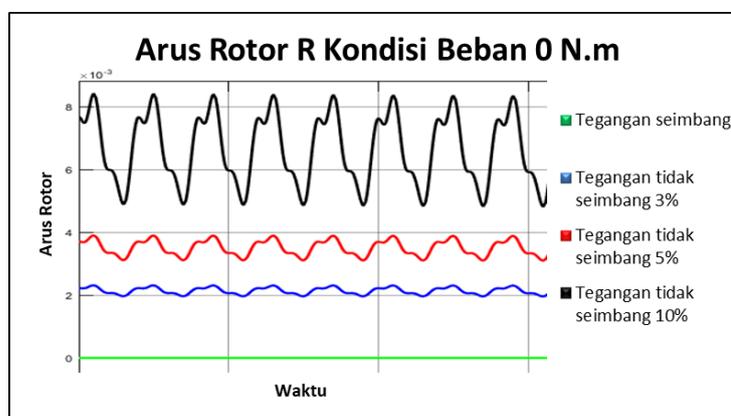


Gambar 4.2 Grafik arus stator terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m

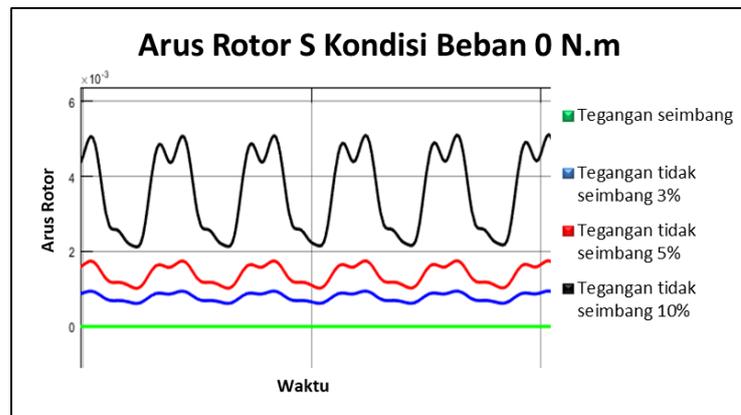
Ketika motor induksi diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang terdapat nilai arus yang melebihi arus maksimum, hal ini dapat meningkatkan temperatur suhu pada kumparan stator, dalam jangka panjang akan menurunkan kekuatan isolasi sehingga mengakibatkan kebocoran arus pada kumparan stator bahkan dapat menyebabkan motor induksi terbakar. Semakin tinggi nilai persentase input tegangan tidak seimbang maka arus stator akan semakin meningkat.

4.3.2 Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Arus Rotor

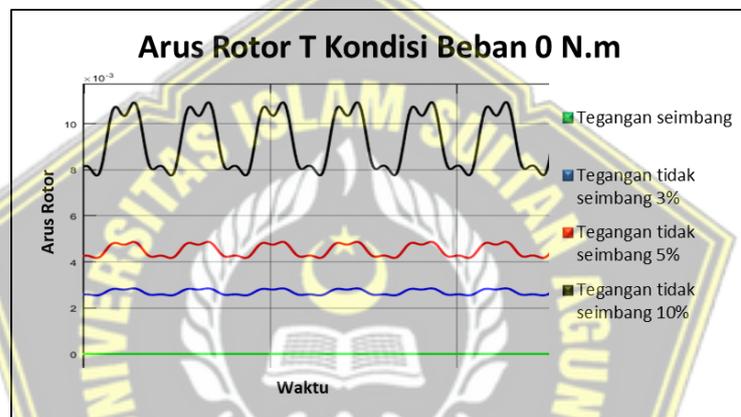
Dari hasil simulasi motor induksi pada Tabel 4.2 ketika input tegangan 3 fasa seimbang dengan kondisi beban 0 N.m nilai arus pada rotor bernilai sangat kecil ($1,28e-06$ A) dan datar, hal ini karena tidak adanya beban. Sedangkan ketika kondisi beban 50 N.m arus pada rotor menjadi bergelombang bernilai 0,5-1,2 A, arus pada rotor lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi tanpa beban, hal ini dipengaruhi oleh nilai beban. Ketika motor induksi diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3% dengan beban 0 N.m arus rotor mengalami fluktuasi bernilai 0,0009-0,0012 A, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m arus rotor mengalami fluktuasi di dalam gelombangnya bernilai 0,015-1,25 A, arus rotor saat keadaan ini tidak dapat stabil jika dibandingkan dengan keadaan tegangan 3 fasa seimbang baik kondisi berbeban maupun tidak berbeban hal ini karena arus yang berbeda pada masing-masing fasanya. Jika hasil nilai arus rotor motor induksi saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3% tadi dibandingkan dengan hasil nilai arus rotor motor induksi saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 5% nilai fluktuasi arus rotor semakin meningkat dalam kondisi beban 0 N.m bernilai 0,0014-0,0042 A, sedangkan kondisi beban 50 N.m bernilai 0,002-1,3 A. Begitu pula saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 10% nilai fluktuasi arus rotornya juga meningkat dalam kondisi beban 0 N.m bernilai 0,0042-0,009 A, sedangkan dalam kondisi beban 50 N.m bernilai 0,015-1,408 A. Berikut Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 yang merupakan perbandingan gelombang arus rotor masing-masing fasa dalam kondisi beban 0 N.m dari simulasi tersebut.



Gambar 4.3 Grafik arus rotor R saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m

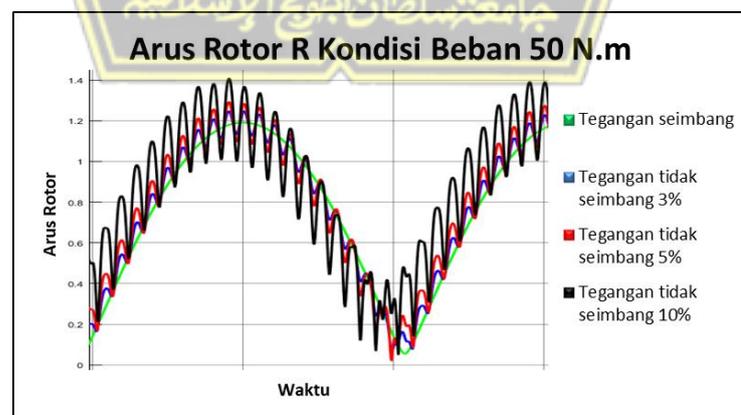


Gambar 4.4 Grafik arus rotor S saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m

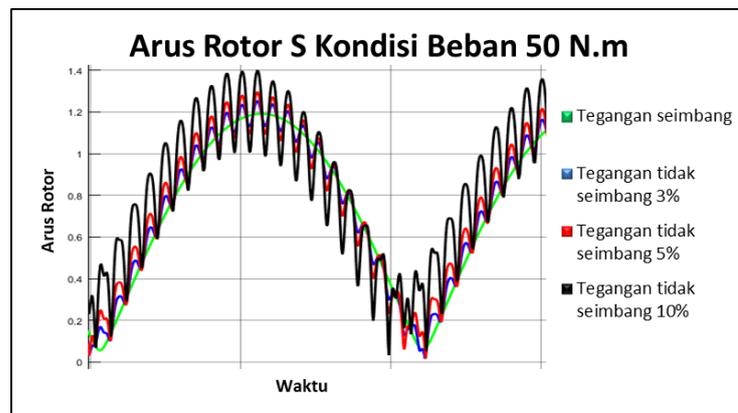


Gambar 4.5 Grafik arus rotor T saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m

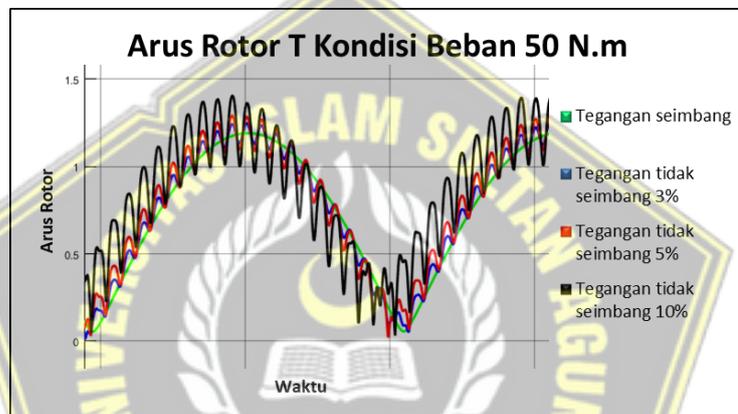
Berikut Gambar 4.6, 4.7, dan 4.8 yang merupakan perbandingan gelombang arus rotor masing-masing fasa dalam kondisi beban 50 N.m dari simulasi tersebut.



Gambar 4.6 Grafik arus rotor R saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m



Gambar 4.7 Grafik arus rotor S saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m

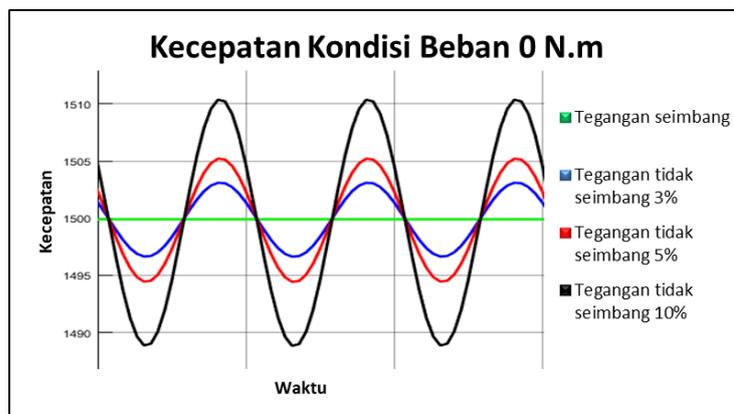


Gambar 4.8 Grafik arus rotor T saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m

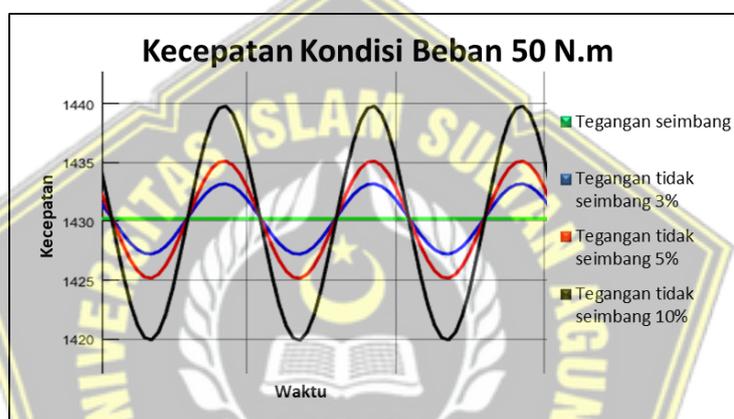
Dari hasil analisa ini dapat diketahui bahwa ketidakseimbangan tegangan 3 fasa sangat mempengaruhi arus rotor pada motor induksi baik saat kondisi berbeban maupun tidak berbeban. Terlihat bahwa arus rotor saat keadaan input tegangan 3 fasa seimbang arus rotor motor induksi stabil dalam kondisi bergelombang tidak terdapat fluktuasi, sedangkan saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang kecepatan motor induksi tidak dapat stabil (naik-turun) karena adanya fluktuasi bahkan saat kondisi berbeban terdapat fluktuasi di dalam gelombang arus rotornya. Semakin tinggi nilai ketidakseimbangan tegangan 3 fasa maka semakin meningkat juga fluktuasi yang terjadi. Akibat adanya fluktuasi pada arus rotor ini dapat berpengaruh pada kecepatan dan torsi yang dihasilkan.

4.3.3 Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Kecepatan

Dari hasil simulasi motor induksi pada Tabel 4.2 ketika diberi input tegangan 3 fasa seimbang dengan kondisi beban 0 N.m (tanpa beban) kecepatan bernilai 1500 rpm berputar cepat karena tidak ada beban dan juga motor induksi 3 fasa yang digunakan mempunyai 4 kutub, sedangkan saat kondisi berbeban 50 N.m kecepatan bernilai 1430 rpm berputar lebih lambat jika dibandingkan dengan kondisi tanpa beban hal ini karena ada beban pada motor tersebut. Ketika motor induksi diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3% dengan beban 0 N.m kecepatan mengalami fluktuasi bernilai 1496,6-1503,1 rpm, sedangkan saat kondisi berbeban 50 N.m kecepatan mengalami fluktuasi bernilai 1427,2-1433,2 rpm, kecepatan saat keadaan ini tidak dapat stabil jika dibandingkan dengan keadaan tegangan 3 fasa seimbang baik kondisi berbeban maupun tidak berbeban hal ini karena arus yang berbeda pada masing-masing fasanya. Jika hasil kecepatan motor induksi saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3% dibandingkan dengan hasil kecepatan motor induksi saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 5% nilai fluktuasi kecepatan semakin meningkat dalam kondisi beban 0 N.m bernilai 1494,4-1505,2 rpm sedangkan kondisi beban 50 N.m bernilai 1425,2-1435,1 rpm. Begitu pula saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 10% nilai fluktuasi kecepatannya juga meningkat dalam kondisi beban 0 N.m bernilai 1488,8-1510,35 rpm, sedangkan kondisi beban 50 N.m bernilai 1419,9-1439,8 rpm. Berikut Gambar 4.9 dan 4.10 yang merupakan grafik perbandingan gelombang kecepatan dari simulasi tersebut, garis hijau merupakan keadaan input tegangan 3 fasa seimbang, garis biru merupakan keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3%, garis merah merupakan keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 5%, dan garis hitam merupakan keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 10%.



Gambar 4.9 Grafik kecepatan saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m

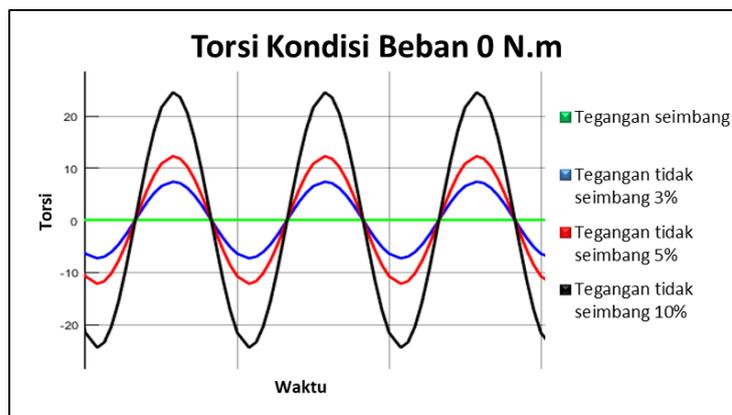


Gambar 4.10 Grafik kecepatan saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m

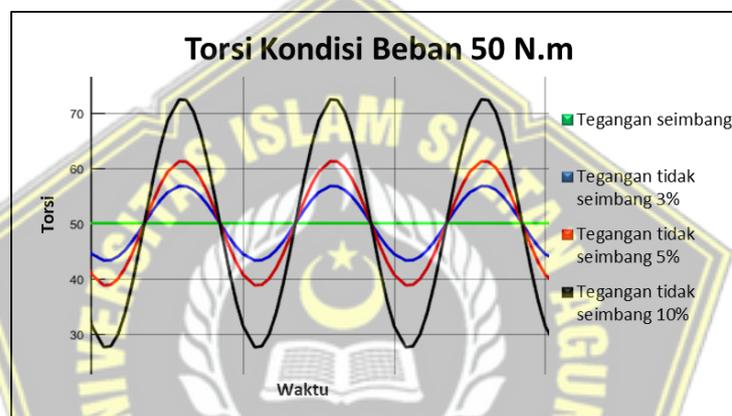
Dari hasil analisa ini dapat diketahui bahwa ketidakseimbangan tegangan 3 fasa sangat mempengaruhi kecepatan pada motor induksi baik saat kondisi berbeban maupun tidak berbeban. Terlihat bahwa kecepatan saat keadaan input tegangan 3 fasa seimbang kecepatan motor induksi stabil, sedangkan saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang kecepatan motor induksi tidak dapat stabil (naik-turun) karena adanya fluktuasi. Semakin tinggi nilai ketidakseimbangan tegangan 3 fasa maka semakin meningkat juga fluktuasi yang terjadi. Akibat adanya fluktuasi ini dapat menimbulkan kecepatan putar yang naik-turun sehingga dapat terjadi gesekan antara stator-rotor as-bearing, karena gesekan tersebut akan timbul getaran serta mengakibatkan keausan komponen dan memperpendek umur motor induksi 3 fasa.

4.3.4 Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Torsi

Dari hasil simulasi motor induksi pada Tabel 4.2 ketika diberi input tegangan 3 fasa seimbang dengan kondisi beban 0 N.m (tanpa beban) torsi elektromagnetik bernilai 0,07 N.m bernilai kecil karena nilai bebannya 0, sedangkan saat kondisi berbeban 50 N.m nilai torsi elektromagnetik 50,08 N.m, nilai tersebut sesuai dengan nilai beban (torsi mekanik) yang dihubungkan ke motor induksi. Ketika motor induksi diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3% dengan beban 0 N.m torsi elektromagnetik mengalami fluktuasi bernilai (-7,25)-7,4 N.m, sedangkan saat kondisi berbeban 50 N.m torsi elektromagnetik mengalami fluktuasi bernilai 43,35-56,8 N.m, torsi saat keadaan ini tidak dapat stabil jika dibandingkan dengan keadaan tegangan 3 fasa seimbang baik kondisi berbeban maupun tidak berbeban hal ini karena input tegangan yang berbeda masing-masing fasanya. Jika hasil torsi elektromagnetik motor induksi saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3% dibandingkan dengan hasil torsi elektromagnetik motor induksi saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 5% nilai fluktuasi torsi elektromagnetik semakin meningkat dalam kondisi beban 0 N.m bernilai (-12,15)-12,3 N.m sedangkan kondisi beban 50 N.m bernilai 38,9-61,2 N.m. Begitu pula saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 10% nilai fluktuasi torsinya juga meningkat dalam kondisi beban 0 N.m bernilai (-24,39)-24,5 N.m, sedangkan kondisi beban 50 N.m bernilai 27,68-72,45 N.m. Berikut Gambar 4.11 dan 4.12 yang merupakan grafik perbandingan gelombang torsi dari simulasi tersebut, garis hijau merupakan keadaan input tegangan 3 fasa seimbang, garis biru merupakan keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3%, garis merah merupakan keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 5%, dan garis hitam merupakan keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 10%.



Gambar 4.11 Grafik torsi saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m



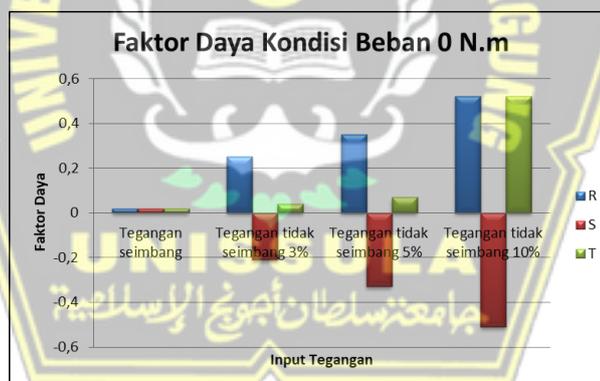
Gambar 4.12 Grafik torsi saat terjadi ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m

Dari hasil analisa ini dapat diketahui bahwa ketidakseimbangan tegangan 3 fasa sangat mempengaruhi torsi elektromagnetik pada motor induksi baik saat kondisi berbeban maupun tidak berbeban. Terlihat bahwa torsi elektromagnetik saat keadaan input tegangan 3 fasa seimbang torsi motor induksi stabil, sedangkan saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang torsi motor induksi tidak dapat stabil (naik-turun) karena adanya fluktuasi. Semakin tinggi nilai input ketidakseimbangan tegangan 3 fasa maka semakin meningkat juga fluktuasi yang terjadi. Akibat adanya fluktuasi pada torsi ini dapat menurunkan tenaga dan kinerja dari motor induksi 3 fasa tersebut.

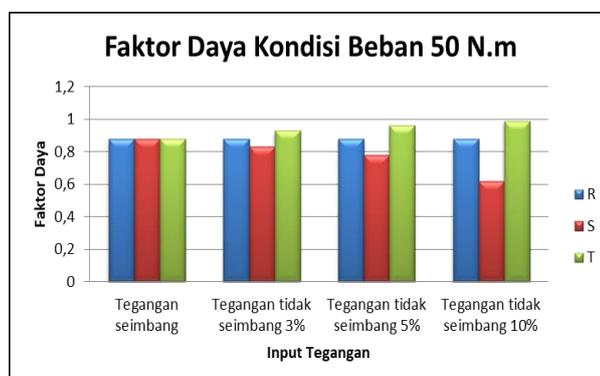
4.3.5 Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Faktor Daya

Dari hasil simulasi motor induksi pada Tabel 4.2 ketika diberi input tegangan 3 fasa seimbang saat kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai faktor

daya sebesar 0,02, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan nilai faktor daya sebesar 0,88. Dikarenakan input tegangan 3 fasa seimbang maka faktor dayanya bernilai sama ($\text{Cos}\phi_1 = \text{Cos}\phi_2 = \text{Cos}\phi_3$). Ketika input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3% kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai faktor daya yang berbeda masing-masing fasanya yaitu (0,25; (-0,21); 0,04), sedangkan saat kondisi berbeban 50 N.m bernilai (0,88; 0,83; 0,93). Saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang semakin besar (5%) dalam kondisi beban 0 N.m faktor daya bernilai (0,35; (-0,33); 0,07), sedangkan dalam kondisi beban 50 N.m bernilai (0,88; 0,78; 0,96). Begitu pula saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang 10% dalam kondisi beban 0 N.m faktor daya bernilai (0,52; (-0,51); 0,52), sedangkan dalam kondisi beban 50 N.m bernilai (0,88; 0,62; 0,99). Nilai faktor daya saat keadaan tegangan tidak seimbang ini lebih besar, tetapi pada salah satu fasa faktor daya bernilai lebih kecil jika dibandingkan dengan keadaan tegangan 3 fasa seimbang. Perbandingan masing kondisi dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14.



Gambar 4.13 Grafik faktor daya terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m

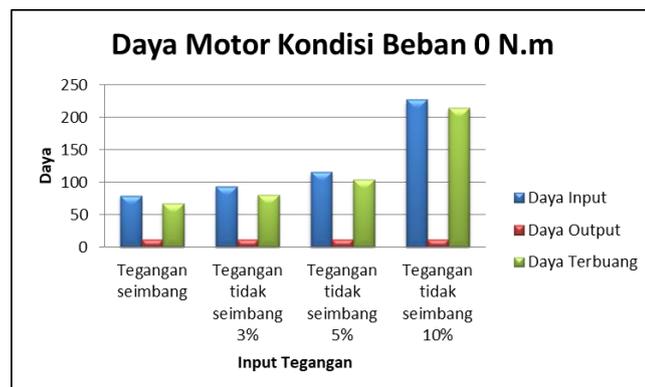


Gambar 4.14 Grafik faktor daya terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m

Dari analisa tersebut dapat diketahui bahwa ketidakseimbangan tegangan tegangan 3 fasa dapat mempengaruhi faktor daya, semakin besar nilai ketidakseimbangan tegangan maka semakin besar faktor daya pada 2 fasanya, akan tetapi pada salah satu fasa faktor daya semakin kecil. Nilai faktor daya diperoleh dari perbandingan antara daya aktif dengan daya semu. Besar kecilnya nilai faktor daya juga dipengaruhi oleh nilai beban pada motor induksi tersebut. Akibat dari faktor daya yang kecil tersebut dapat mengakibatkan denda dari PLN berupa tagihan Kvarh.

4.3.6 Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Daya Input, Daya Output, dan Daya Terbuang

Dari hasil simulasi motor induksi pada Tabel 4.2 ketika diberi input tegangan 3 fasa seimbang saat kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai daya input sebesar 79,57 W; daya output 12,41 W; dan daya terbuang 67,16 W, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan nilai daya input sebesar 8306 W; daya output 7500 W; dan daya terbuang 806 W. Ketika diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3% kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai daya input sebesar 92,91 W; daya output 12,41 W; dan daya terbuang 80,5 W, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan daya input sebesar 8320 W; daya output 7500 W; dan daya terbuang 820 W. Nilai daya input saat keadaan tegangan tidak seimbang ini lebih besar jika dibandingkan dengan keadaan tegangan 3 fasa seimbang. Saat keadaan input tegangan 3 fasa tidak seimbang semakin besar (5%-10%) baik kondisi beban 0 N.m maupun 50 N.m menghasilkan nilai daya input yang semakin besar. Sedangkan untuk daya output nilainya tetap tidak terpengaruhi oleh besar kecilnya tegangan 3 fasa tidak seimbang. Untuk nilai daya terbuang sama halnya seperti daya input, semakin besar nilai tegangan 3 fasa tidak seimbang maka menghasilkan daya terbuang yang semakin besar juga baik kondisi beban 0 N.m maupun beban 50 N.m. Perbandingan masing-masing kondisi dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan 4.16.



Gambar 4.15 Grafik daya motor terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 0 N.m



Gambar 4.16 Grafik daya motor terhadap ketidakseimbangan tegangan kondisi beban 50 N.m

Dari analisa tersebut dapat diketahui bahwa nilai daya input pada motor induksi dipengaruhi oleh tegangan, arus, dan faktor daya. Daya output nilainya tetap tidak ada perubahan ketika terjadi ketidakseimbangan tegangan, hal ini karena daya output hanya dipengaruhi oleh torsi dan kecepatan motor, maka daya output juga dipengaruhi oleh beban yang terhubung pada motor induksi. Untuk daya yang terbuang hasilnya merupakan pengurangan dari daya input dan daya output, karena dilakukan secara simulasi maka daya terbuang hanya dapat diketahui nilainya saja tidak dapat diketahui secara spesifik. Akibat daya input yang semakin besar ini dapat mengakibatkan meningkatnya daya terpakai dan berujung pada meningkatnya biaya tagihan listrik.

4.3.7 Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Efisiensi

Dari hasil simulasi motor induksi pada Tabel 4.2 ketika diberi input tegangan 3 fasa seimbang saat kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai efisiensi sebesar 15,6%, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan nilai efisiensi

sebesar 90,29%. Ketika diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang 3% kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai efisiensi sebesar 13,36%, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan efisiensi sebesar 90,14%. Ketika diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang 5% kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai efisiensi sebesar 10,64%, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan efisiensi sebesar 89,87%. Ketika diberi input tegangan 3 fasa tidak seimbang 10% kondisi beban 0 N.m menghasilkan nilai efisiensi sebesar 5,44%, sedangkan saat kondisi beban 50 N.m menghasilkan efisiensi sebesar 88,64%. Ketika motor induksi tidak dihubungkan dengan beban maka nilai efisiensinya kecil karena kinerja tidak dapat optimal. Semakin besar nilai ketidakseimbangan tegangan 3 fasa baik pada kondisi beban 0 N.m maupun 50 N.m, mengakibatkan nilai efisiensi motor induksi akan menurun. Perbandingan masing-masing kondisi dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik perbandingan efisiensi terhadap ketidakseimbangan tegangan

Dari analisa tersebut dapat diketahui bahwa nilai efisiensi pada motor induksi mengalami penurunan ketika terjadi ketidakseimbangan tegangan 3 fasa. Hal ini karena nilai efisiensi merupakan perbandingan antara daya output dengan daya input yang dihasilkan motor induksi. Besar kecilnya nilai efisiensi motor induksi juga dipengaruhi oleh nilai beban yang terhubung dengan motor induksi. Akibat nilai efisiensi yang menurun mengakibatkan kinerja motor induksi yang tidak dapat maksimal.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Ketidakseimbangan tegangan ketika persentase penyimpangannya semakin besar berpengaruh terhadap nilai parameter unjuk kerja motor induksi, untuk arus stator dalam kondisi beban penuh bisa melebihi arus maksimum motor 14,26 A, untuk arus rotor berakibat terjadi fluktuasi di dalam gelombang arus rotor, untuk kecepatan dan torsi motor juga terjadi fluktuasi maka kecepatan dan torsi tidak dapat stabil, untuk faktor daya bernilai semakin besar, akan tetapi pada salah satu fasa faktor daya bernilai semakin kecil (dibawah standar 0,8) bahkan bernilai negatif ketika kondisi tanpa beban, untuk pemakaian daya input nilainya semakin besar, untuk daya output mekanik yang dihasilkan bernilai tetap, sedangkan untuk daya terbuang hasilnya meningkat karena merupakan hasil pengurangan antara daya input dengan daya output, dan untuk efisiensi motor nilainya semakin menurun dalam kondisi beban penuh efisiensi turun dari 90,29%-88,64%.
2. Ketidakseimbangan tegangan sangat berpengaruh terhadap nilai parameter unjuk kerja motor induksi 3 fasa, walaupun nilai penyimpangan tegangannya cukup kecil akan sangat berpengaruh ketika motor tersebut mempunyai beban yang besar, ketidakseimbangan tegangan sebesar 3% pun tidak direkomendasikan digunakan dalam jangka panjang. Maka dari itu NEMA (*National Electrical Manufactures Association*) hanya membatasi nilai ketidakseimbangan tegangan sebesar 5%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disampaikan beberapa saran yaitu sebagai berikut :

1. Memberikan proteksi pada motor induksi agar terhindar dari dampak ketidakseimbangan tegangan.
2. Keadaan tegangan 3 fasa seimbang sempurna memang tidak akan pernah tercapai, perlu dibuat rancangan untuk meminimalkan ketidakseimbangan tegangan 3 fasa.
3. Penelitian selanjutnya dapat menyertakan sudut fasa juga yang tidak seimbang sebagai inputnya.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Purwasih, “Teknik Penilaian Unjuk Kerja Dan Catatan Anekdote Sebagai Upaya Pemantauan Perkembangan Anak Di PAUD Aisyiyah Cabang Kartasura Sukoharjo Jawa Tengah,” *Journal Warn.*, vol. 2, no. 2, pp. 76–86, 2018.
- [2] W. D. S. JR., *Analisa Sistem Tenaga*, 4th ed. Malang: Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya Malang, 1983.
- [3] N. E. M. Association, *NEMA MG 1-2009 Motors and Generators*. National Electrical Manufacturer Association, 2009.
- [4] N. E. M. Association, *ANSI C84-1 American National Standard for Electric Power Systems and Equipment*. American National Standards Institute, Inc, 2016.
- [5] S. Singh and A. Srivastava, “Voltage Unbalance and Its Impact on the Performance of Three Phase Induction Motor: A Review,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 7, no. VII, pp. 106–111, 2019.
- [6] P. Setiawan, “Pengaruh Kinerja Motor Induksi Pada Tegangan Tidak Seimbang Dengan Metode Transformasi Direct Quadrature,” *Avitec*, vol. 1, no. 1, pp. 15–28, 2019.
- [7] A. Kurnia Pratama, E. Zondra, and H. Yuwendius, “Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan,” *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 5, no. 1, pp. 35–43, 2020.
- [8] E. Kusbiyantoro, “Analisa Tegangan Tidak Seimbang Terhadap Torsi dan Daya Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Software Matlab,” 2021.
- [9] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [10] Sarjono, R. Gianto, and A. Hiendro, “Evaluasi Kinerja Motor Induksi 3 Fasa 100 HP / 75 KW Pada Panel Star – Delta Di PDAM Tirta Raya Adi Sucipto Kubu Raya,” *J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2020.
- [11] M. F. S. Rizki, “Analisis Performansi Motor Induksi Satu Fasa Dengan Perbandingan Suplai Daya v/f Konstan Pada Blower Dengan Menggunakan

- Matlab,” *J. Electr. Syst. Control Eng.*, vol. 2, no. 2, 2019.
- [12] U. Effendi, “Analisis Torsi Dan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Simulasi Matlab,” Universitas Negeri Semarang, 2017.
- [13] B.L.Theraja and A.K.Theraja, “Induction Motor,” in *Electrical Technology in SI Units Volume II AC & DC Machines*, 1959, pp. 1243–1311.
- [14] P. Sumardjati, S. Yahya, and A. Mashar, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*, 3rd ed. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [15] S. J. Chapman, *Electrical Machinery Fundamentals*, 4th ed. Elizabeth A. Jones, 2005.
- [16] G. Henneberger, *Electrical Machine I*. Aachen, 2002.
- [17] I. N. Bagia and I. M. Parsa, *Motor-motor Listrik*, 1st ed. Kupang: CV Rasi Terbit, 2018.
- [18] Sultan, I. M. A. Nrrartha, and A. B. Muljono, “Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Rotor Sangkar Dengan Berbagai Pengasutan,” *Dielektrika*, vol. 2, no. 1, pp. 57–66, 2015.
- [19] N. Malik, Zulhajji, and N. Wahidah, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Rugi-Rugi Daya Listrik Pada Jaringan Distribusi Primer Di PT. PLN (Persero) UP3 1 3 Makassar Utara,” *J. MEDIA Elektr.*, vol. 18, no. 1, pp. 149–159, 2021.
- [20] M. S. Yolansyah, “Kajian Ekonomis Kerugian Listrik PLN Akibat Pencurian Dengan Metode Merubah MCB Dan Menambahkan Jarum Pada Piringan KWH Meter,” Universitas Brawijaya, 2018.
- [21] P. Pillay and M. Manyage, “Definitions of voltage unbalance,” *IEEE Power Eng. Rev.*, vol. 21, no. 5, pp. 50–51, 2001.
- [22] IEEE Industry Applications Society. and Power Systems Engineering Committee., *IEEE Std 141-1993 Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*, vol. 1993. 1994.
- [23] R. I. Wardani, “Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Performansi Motor Bow Thruster Di Kapal Berdasarkan Aturan IEC Menggunakan Perangkat Lunak Simulasi,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.